

CFO 1289205/w

日本国特許庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

DEC - 1 1998

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

1998年 6月11日

出願番号

Application Number:

平成10年特許願第179706号

出願人

Applicant (s):

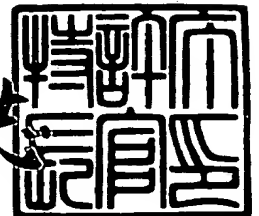
キヤノン株式会社

SN 69/127,031  
GAU 2851

1998年 9月11日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

伴佐山 建志



出証番号 出証特平10-3072791

【書類名】 特許願

【整理番号】 3571009

【提出日】 平成10年 6月11日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B

【発明の名称】 光学素子及びそれを用いた光学装置

【請求項の数】 68

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

    【氏名】 荒木 敬介

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

    【氏名】 須永 敏弘

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

    【氏名】 田中 常文

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

    【氏名】 関田 誠

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

    【氏名】 木村 研一

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社

社内

【氏名】 秋山 健志

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】

【識別番号】 100086818

【弁理士】

【氏名又は名称】 高梨 幸雄

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成 9年特許願第221950号

【出願日】 平成 9年 8月 4日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009623

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703877

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学素子及びそれを用いた光学装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物体像を最終像面に至る前の光路中の中間結像面に少なくとも 1 回結像させる物体側結像要素および中間結像面に形成した物体像を最終像面に再結像させる像側結像要素を含み、該物体像を最終像面に結像させる光学素子を備え、該物体側結像要素又は該像側結像要素の少なくとも一方はオフアキシヤル曲面を含むオフアキシヤル光学系より成り、該物体側結像要素と像側結像要素の双方の諸収差を制御して、該中間結像面近傍にノイズ発生源が存在する場合に、最終像面上で該ノイズ発生源による光強度分布の擾乱を平坦化していることを特徴とする光学素子。

【請求項 2】 入射面から入射した光束を複数の反射面のうちの一部の反射面で反射させて、中間結像面に物体像を形成し、該物体像に基づく光束を該複数の反射面のうちの残りの反射面で反射させて出射面より出射させて、所定面上に導光するようにした光学素子であって、該入射面から該中間結像面までに至る物体側結像要素と該中間結像面から出射面までに至る像側結像要素のうち少なくとも一方にはオフアキシヤル曲面が設けられており、該物体側結像要素と像側結像要素の双方の諸収差を制御して該中間結像面近傍に存在するノイズ発生源によって該所定面上に生ずる光強度分布を平坦化していることを特徴とする光学素子。

【請求項 3】 透明体の表面に設けた入射面から入射した光束を該透明体の表面に設けた複数の反射面のうちの一部の反射面で反射させて、該透明体の内部の中間結像面に物体像を形成し、該物体像に基づく光束を該複数の反射面のうちの残りの反射面で反射させて該透明体の表面に設けた出射面より出射させて、所定面上に導光するようにした光学素子であって、該入射面から該中間結像面までに至る物体側結像要素と該中間結像面から出射面までに至る像側結像要素のうち少なくとも一方にはオフアキシヤル曲面が設けられており、該物体側結像要素と像側結像要素の双方の諸収差を制御して該中間結像面近傍に存在するノイズ発生源によって該所定面上に生ずる光強度分布を平坦化していることを特徴とする光学素子。



【請求項4】 前記諸収差の制御は前記中間結像面における前記物体側結像要素の結像性能を劣化させ、該劣化させた結像性能を前記像側結像要素で補正することを特徴とする請求項1、2又は3の光学素子。

【請求項5】 前記オフアキシヤル曲面は前記複数の反射面のうちの1つの反射面に設けられていることを特徴とする請求項2又は3の光学素子。

【請求項6】 前記光学素子は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta 11$ 、該絞りの絞り径を固定したときの最終像面上におけるスポットサイズを $V$ 、前記中間結像面におけるスポットサイズを $U$ としたとき

$$V / |\beta 11| < U$$

となるように各要素を設定していることを特徴とする請求項1から5のいずれか1項記載の光学素子。

【請求項7】 前記光学素子は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta 11$ 、該絞りの絞り径を固定したときの最終像面上におけるスポットサイズを $V$ 、前記中間結像面におけるスポットサイズを $U$ としたとき

$$3 \cdot V / |\beta 11| < U$$

となるように各要素を設定していることを特徴とする請求項1から5のいずれか1項記載の光学素子。

【請求項8】 前記光学素子は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta 11$ 、該絞りの絞り径を固定したときの最終像面上におけるスポットサイズを $V$ 、前記中間結像面におけるスポットサイズを $U$ としたとき

$$5 \cdot V / |\beta 11| < U$$

となるように各要素を設定していることを特徴とする請求項1から5のいずれか1項記載の光学素子。

【請求項9】 前記物体側結像要素の中間結像面における結像性能の劣化は軸上から軸外まで画角に依存しない特定の収差を発生させることにより行っていることを特徴とする請求項4の光学素子。

【請求項10】 前記特定の収差は軸上非点収差であることを特徴とする請求項9の光学素子。

【請求項11】 前記物体側結像要素の中間結像面における結像性能の劣化

は軸上から軸外まで画角に依存しないで発生する子午断面の光線が子午断面から飛び出すねじれの収差により行っていることを特徴とする請求項9の光学素子。

【請求項12】 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が最小絞り値の時でも問題となる前記ノイズ発生源の最小径の2倍以上になっていることを特徴とする請求項9又は11の光学素子。

【請求項13】 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が最小絞り値の時でも問題となる前記ノイズ発生源の最小径の3倍以上になっていることを特徴とする請求項9又は11の光学素子。

【請求項14】 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が開放の時に問題となる前記ノイズ発生源の最小径の3倍以上になっていることを特徴とする請求項9又は11の光学素子。

【請求項15】 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が開放の時に問題となる前記ノイズ発生源の最小径の5倍以上になっていることを特徴とする請求項9又は11の光学素子。

【請求項16】 前記光学素子は焦点距離の変化しない構造より成っていることを特徴とする請求項1～15のいずれか1項記載の光学素子。

【請求項17】 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、アナモフィックな屈折力を持つ面を有していることを特徴とする請求項1から16のいずれか1項記載の光学素子。

【請求項18】 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、共通の対称面を持たない光学系より成っていることを特徴とする請求項1から17のいずれか1項記載の光学素子。

【請求項19】 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、対称性の全くない面を含んでいることを特徴とする請求項1から17のいずれか1項記載の光学素子。

【請求項20】 請求項1から19のいずれか1項記載の光学素子を用いて物体像を撮像素子に結像していることを特徴とする光学装置。

【請求項21】 請求項1から19のいずれか1項記載の光学素子を複数用いて、そのうち少なくとも2つの光学素子間の相対的位置を変化させて物体像を撮像素子に異なった倍率で結像していることを特徴とする光学装置。

【請求項22】 前記光学素子の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが最小絞り値のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$10 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足することを特徴とする請求項20又は21の光学装置。

【請求項23】 前記光学素子の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが最小絞り値のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足することを特徴とする請求項20又は21の光学装置。

【請求項24】 前記光学素子の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが開放のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足することを特徴とする請求項20又は21の光学装置。

【請求項25】 前記光学素子の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが開放のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$25 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足することを特徴とする請求項20又は21の光学装置。

【請求項26】 前記少なくとも2つの光学素子間の相対的位置の変化を該光学素子のうち少なくとも一方を基準軸方向に変位させて行っていることを特徴

とする請求項21の光学装置。

【請求項27】 物体像を最終像面に至る前の光路中の中間結像面に少なくとも1回結像させる物体側結像要素および中間結像面に形成した物体像を最終像面に再結像させる像側結像要素を含み、該物体像を最終像面に結像させる光学系において、該物体側結像要素又は該像側結像要素の少なくとも一方はオフアキシヤル曲面を含むオフアキシヤル光学要素より成り、該物体側結像要素と像側結像要素の双方の諸収差を制御して、該中間結像面近傍にノイズ発生源が存在する場合に、最終像面上で該ノイズ発生源による光強度分布の擾乱を平坦化していることを特徴とする光学系。

【請求項28】 前記オフアキシヤル曲面は反射面より成っていることを特徴とする請求項27の光学系。

【請求項29】 前記諸収差の制御は前記中間結像面における前記物体結像要素の結像性能を劣化させ、該劣化させた結像性能を前記像側結像要素で補正することを特徴とする請求項27又は28の光学系。

【請求項30】 前記光学系は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta 11$ 、該絞りの絞り径を固定したときの前記最終像面におけるスポットサイズを $V$ 、前記中間結像面におけるスポットサイズを $U$ としたとき意図的に

$$V / |\beta 11| < U$$

となるように各要素を設定していることを特徴とする請求項27から29のいずれか1項記載の光学系。

【請求項31】 前記光学系は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta 11$ 、該絞りの絞り径を固定したときの前記最終像面におけるスポットサイズを $V$ 、前記中間結像面におけるスポットサイズを $U$ としたとき

$$3 \cdot V / |\beta 11| < U$$

となるように各要素を設定していることを特徴とする請求項27から29のいずれか1項記載の光学系。

【請求項32】 前記光学系は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta 11$ 、該絞りの絞り径を固定したときの前記最終像面におけるスポットサイズを $V$ 、前記中間結像面におけるスポットサイズを $U$ としたとき

$$5 \cdot V / |\beta_{11}| < U$$

となるように各要素を設定していることを特徴とする請求項27から29のいずれか1項記載の光学系。

【請求項33】 前記物体側結像要素の中間結像面における結像性能の劣化は軸上から軸外まで画角に依存しない特定の収差を発生させることにより行っていることを特徴とする請求項29の光学系。

【請求項34】 前記特定の収差は軸上非点収差であることを特徴とする請求項33の光学系。

【請求項35】 前記物体側結像要素の中間結像面における結像性能の劣化は軸上から軸外まで画角に依存しないで発生する子午断面の光線が子午断面から飛び出すねじれの収差により行っていることを特徴とする請求項33の光学系。

【請求項36】 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が最小絞り値の時でも問題となる前記ノイズ発生源の最小径の2倍以上になっていることを特徴とする請求項33又は35の光学系。

【請求項37】 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が最小絞り値の時でも問題となる前記ノイズ発生源の最小径の3倍以上になっていることを特徴とする請求項33又は35の光学系。

【請求項38】 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が開放の時に問題となる前記ノイズ発生源の最小径の3倍以上になっていることを特徴とする請求項33又は35の光学系。

【請求項39】 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が開放の時に問題となる前記ノイズ発生源の最小径の5倍以上になっていることを特徴とする請求項33又は35の光学系。

【請求項40】 前記光学素子は焦点距離の変化しない単焦点距離部材より成っていることを特徴とする請求項27～39のいずれか1項記載の光学素子。

【請求項41】 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、アナモフィックな屈折力を持つ面を有していることを特徴とする請求項2

7から40のいずれか1項記載の光学系。

【請求項42】 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、共通の対称面を持たない光学系より成っていることを特徴とする請求項27から41のいずれか1項記載の光学系。

【請求項43】 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、対称性の全くない面を含んでいることを特徴とする請求項27から41のいずれか1項記載の光学系。

【請求項44】 請求項27から43のいずれか1項記載の光学系を用いて物体像を撮像素子に結像していることを特徴とする光学装置。

【請求項45】 請求項27から44のいずれかの光学系を少なくとも1つ含む光学装置において、物体の像を最終像面に結像させるトータルな結像光学系は、焦点距離、結像倍率、最終結像面でのピントのうちの少なくとも1つを変化させることができることを特徴とする光学装置。

【請求項46】 前記光学系の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが最小絞り値のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$10 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足することを特徴とする請求項44又は45の光学装置。

【請求項47】 前記光学系の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが最小絞り値のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足することを特徴とする請求項44又は45の光学装置。

【請求項48】 前記光学系の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが開放のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足することを特徴とする請求項44又は45の光学装置。

【請求項49】 前記光学系の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが開放のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$25 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足することを特徴とする請求項44又は45の光学装置。

【請求項50】 前記少なくとも2つの光学系間又は光学系と像面間の相対的位置の変化を該光学系又は像面のうち少なくとも一つを基準軸方向に変位させて行っていることを特徴とする請求項45の光学装置。

【請求項51】 前記光学系の焦点距離、結像倍率、最終結像面でのピントのうち少なくとも1つを変化させることをトータルな光学系を構成する少なくとも1つの部分の光学系のブロックの基準軸の沿っての最終像面に対する相対距離を変化させることによって行うことを特徴とする請求項45の光学装置。

【請求項52】 物体からの光束を透明体の表面に形成した入射面で入射させて、該透明体の一部に設けた曲面より成る内面反射の反射面の少なくとも一つで反射させた後に、透明体の射出面から射出させて像を形成する反射光学系、又は、物体からの光束を表面反射鏡より成る複数の反射面で反射を繰り返し、射出するように構成された反射光学系である事を特徴とする請求項33、又は34に記載の反射光学系。

【請求項53】 一体的に形成されている光学素子であることを特徴とする請求項52に記載の反射光学系。

【請求項54】 一体的に形成されている複数の光学素子からなることを特徴とする請求項52に記載の反射光学系。

【請求項55】 前記光学素子内部に存在する光学性能上問題となる泡や異物等の粒径、または、中間結像位置付近にある表面反射面上の光学性能上問題となる疵の幅や付着物等の粒径をDとし、最も物体側にある入射面から中間結像位置より手前の光学面までのアジムスに依存する合成焦点距離のうち、最大となる

該合成焦点距離を  $f_1$ 、そのときのアジムスを  $\xi$  とし、該中間結像位置での軸上非点隔差を  $S$  とし、更に、絞りが開放のときの該アジムス  $\xi$  に対応する最も物体側にある入射面から該中間結像位置より手前の光学面までの射出瞳の径を  $AR_1$  とすると、

【数1】

$$\left| \frac{D \cdot f_1}{S \cdot AR_1} \right| < 0.1$$

となる条件を満足する請求項52～54いずれか1項に記載の反射光学系。

【請求項56】 絞り径を調整する機能を持つ請求項52～54いずれか1項に記載の反射光学系において、前記光学素子内部に存在する光学性能上問題となる泡や異物等の粒径、または、中間結像位置付近にある表面反射面上の光学性能上問題となる疵の幅や付着物等の粒径を  $D$  とし、最も物体側にある入射面から中間結像位置より手前の光学面までのアジムスに依存する合成焦点距離のうち、最大となる該合成焦点距離を  $f_1$ 、そのときのアジムスを  $\xi$  とし、該中間結像位置での軸上非点隔差を  $S$  とし、更に、小絞りのときの該アジムス  $\xi$  に対応する最も物体側にある入射面から該中間結像位置より手前の光学面までの射出瞳の径を  $AR_2$  とすると、

【数2】

$$\left| \frac{D \cdot f_1}{S \cdot AR_2} \right| < 0.3$$

となる条件を満足する反射光学系。

【請求項57】 前記反射光学系の最も物体側にある入射面から中間結像位置より手前の光学面までのアジムスに依存する合成焦点距離のうち、最大となる該合成焦点距離を  $f_1$ 、そのときのアジムスを  $\xi$  とし、該中間結像位置での軸上非点隔差を  $S$  とし、撮像素子の画素の大きさ等で与えられる最小分解能の長さを  $b$ 、該中間結像位置から撮像素子のある最終像面までの光学系において、該アジムス  $\xi$  と垂直方向での中間結像面を最終像面に結像するときの結像倍率を  $\beta$ 、更



に、絞りが開放のときの該アジムス $\xi$ に対応する最も物体側にある入射面から該中間結像位置より手前の光学面までの射出瞳の径をAR1とすると、

【数3】

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| < 0.1$$

となる条件を満足する請求項52～54いずれか1項に記載の反射光学系。

【請求項58】 絞り径を調整する機能を持つ請求項52～54いずれか1項に記載の反射光学系において、最も物体側にある入射面から中間結像位置より手前の光学面までのアジムスに依存する合成焦点距離のうち、最大となる該合成焦点距離をf1、そのときのアジムスを $\xi$ とし、該中間結像位置での軸上非点隔差をSとし、撮像素子の画素の大きさ等で与えられる最小分解能の長さをb、該中間結像位置から撮像素子のある最終像面までの光学系において、該アジムス $\xi$ と垂直方向での中間結像面を最終像面に結像する時の結像倍率を $\beta$ 、更に、小絞りのときの該アジムス $\xi$ に対応する最も物体側にある入射面から該中間結像位置より手前の光学面までの射出瞳の径をAR2とすると、

【数4】

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR2} \right| < 0.3$$

となる条件を満足する反射光学系。

【請求項59】 前記透明体である光学素子の入射面が回転対称面であることを特徴とする請求項52～58いずれか1項に記載の反射光学系。

【請求項60】 前記透明体である光学素子の入射面が回転非対称面であることを特徴とする請求項52～58いずれか1項に記載の反射光学系。

【請求項61】 前記反射光学系の最も物体側にある入射面近傍に絞りを設けたことを特徴とする請求項52～60いずれか1項に記載の反射光学系。

【請求項62】 前記反射光学系の物体側から数えて第1の曲面の反射面が収斂作用を有することを特徴とする請求項52～61のいずれか1項に記載の反

射光学系。

【請求項 63】 前記透明体である光学素子の射出面は基準軸に対して回転対称な形状であることを特徴とする請求項 52～62 のいずれか 1 項に記載の反射光学系。

【請求項 64】 前記透明体である光学素子の射出面は基準軸に対して回転非対称な形状であることを特徴とする請求項 52～62 のいずれか 1 項に記載の反射光学系。

【請求項 65】 前記光学素子は、射出する基準軸の方向に平行に移動してフォーカシングすることを特徴とする請求項 52～64 のいずれか 1 項に記載の反射光学系。

【請求項 66】 請求項 54～65 のいずれか 1 項に記載の反射光学系において、該複数の光学素子を介して物体の像を結像すると共に、該複数の光学素子のうち、少なくとも 2 つの光学素子の相対的位置を変化させることによりズームを行うことを特徴とする反射型のズーム光学系。

【請求項 67】 請求項 52～66 のいずれか 1 項に記載の反射光学系を有し、撮像媒体の撮像面上に前記物体の像を結像することを特徴とする撮像装置。

【請求項 68】 請求項 52～66 のいずれか 1 項に記載の反射光学系を有した観察光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光学素子及びそれを用いた光学装置に関し、例えば装置全体の小型化を図りつつ、物体の像を最終像面に結像させる例えばビデオカメラ、スチールビデオカメラそして複写機等に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

従来より、物体の像を最終像面に結像させる光学装置（以下「光学系」ともいう。）においては、倒立実像系が光学系として主として用いられている。

【0003】

一方、第1面から最終像面までの光路長が長い光学系において、該光学系の断面を小さくしたい時や正立像が得たい場合などには中間結像をする光学系が用いられている。

【0004】

図6(A)から図6(C)には、そうした光学系の概念図を示している。図6(A)は共軸系での中間結像の場合での概念図である。

【0005】

図中1は物体面、5は光学系であり、レンズ系L1、L3、L2より成っている。2は中間結像面であり、レンズ系L3の内部に位置している。3は最終像面である。

【0006】

同図において物体1からの光束はレンズ系L1で集光され、レンズ系L3の中部の中間結像面2に結像し、その後レンズ系L2によって最終像面3に正立の物体像を形成している。

【0007】

ここで、レンズ系L1は物体面1の像をレンズ系L3中の中間結像面2に結像させる物体側結像要素を構成させている。レンズ系L2は中間結像面2の像を最終像面3に再結像させる像側結像要素を構成している。

【0008】

これら部分要素が結像光学系5の一部を構成している。ここでレンズ系L3は中間結像面2付近の光学系を概念的に表わしており、具体的にはフィールドレンズやプリズムブロック等が対応している。

【0009】

図6(B)は屈折率分布媒質を用いた正立実像結像系の要部断面図である。同図において物体1からの光束は結像光学系(光学系)5の前半部分10で集光された中間結像面に結像し、その後、結像光学系5の後半部分11によって最終結像面3に物体像を形成している。この場合、前半部分10は物体側結像部分要素を構成し、後半部分11は像側結像要素を構成し、これらは一体になって結像光学系5を構成している。こうした屈折率分布媒質を用いた正立実像結像系のうち

、正立等倍結像系はこうした結像系をレンズアレイとしたものが複写機等で用いられている。

#### 【0010】

図6(C)は特開平8-292371号公報に開示されている非共軸光学系での中間結像を持つ場合の光学装置の要部概略図である。同図において物体1からの光束は絞り4を通過後、光学素子5の入射面10-1より屈折入射し、凹面反射面10-2で反射した後に中間結像面2に結像する。中間結像面2からの光束は、その後、反射面11-1、11-2、11-3で反射し、出射面11-4より出射して最終像面3に物体像を形成している。

#### 【0011】

この図においては、共軸系の光軸に対応するものとして、基準軸(8-1から8-5)の概念が用いられている。これは、物体面1の中心と絞り4の中心を通る基準波長の光線の光路として定義されるものである。

#### 【0012】

こうした光学系は、光軸に対応する基準軸が構成面と交わる点において、基準軸と面法線が一致せず、0でない有限の角度をなす面を含むので、Off-Axial光学系とよばれる(Off-Axial光学系の定義)。この場合においても、物体側結像要素を構成する前方要素10(面10-1、10-2)と像側結像要素を構成する後方要素11(面11-1、11-2、11-3、11-4)は一体になって結像光学系5を構成している。

#### 【0013】

なお、こうした非共軸、Off-Axial光学系については特開平9-5650号公報において、面形状の設定方法や近軸量の計算方法がOff-Axial光学系の性質とともに詳しく述べられている。

#### 【0014】

なお、図6(A)～図6(C)には、簡単のためいずれも中間結像は1回で表現してあるが、複数回(2回以上)中間結像して最終像面に結像するものも知られている。

#### 【0015】

一般に、こうした中間結像をする光学系においては、中間結像面での球面収差等の結像性能を保っておき、これを伝送することで最終像面での結像性能を保とうとする設計手法がとられている。この手法は通常の設計手法を複数回使うだけなので概念的にもわかりやすく、設計もしやすい。また、自動設計の手法を用いて設計を行なう場合には、一般に中間結像面での結像特性は全く考慮せず、最終像面での結像特性だけを考慮した設計が行なわれることもある。

## 【0016】

しかし、そうした場合であっても、中間結像での球面収差等の結像特性はそこに保たれた解に一般的にはたどり着く。

## 【0017】

## 【発明が解決しようとする課題】

一般に光学素子内にはゴミ等の異物や泡が存在する。これらの粒径は様々であるが、ガラス工業会規格では光学素子内の $30\mu\text{m}$ 以上の泡にたいして泡の規格がある。特殊眼視系レンズでは $30\mu\text{m}$ 以下の微細な泡や異物も問題となることがあり、その際には特別な検査が必要である。

## 【0018】

また、裸眼による泡や異物の検出は $5\mu\text{m}$ 程度が限界となり、粒径が $100\mu\text{m}$ の程度になると目視で検出できる様になる。また、表面反射鏡においても、表面にできた傷や付着物等は光学性能を劣化させる要因となり検査が必要である。問題となる光学素子内に存在する泡や異物の粒径や、表面反射面上の疵の幅や付着物等の大きさは設計仕様や製造コストの面で様々であるが、製造コストを重視すれば、目視で検出できる $100\mu\text{m}$ 以上の泡や異物、又は、表面反射面上の疵や付着物等が多く存在すれば不良品と判断する。また、光学性能を重視する場合は、泡や異物、付着物、傷の幅等の大きさが $10\mu\text{m}$ 以下のものは光学性能に影響を与えないと考えられるから、それらの大きさが $10\mu\text{m}$ 以上のものが多く存在すれば不良品と判断するのが妥当と思われる。この様に検査の基準となる泡や異物、付着物等の大きさは $10\sim 100\mu\text{m}$ 程度となる。

## 【0019】

また、問題となる泡や異物、付着物等の大きさについて製品の仕様から説明す

ることにする。一般に、撮像素子上で問題となる泡や異物、付着物等の大きさは製品の種類や画像の種類、あるいは個人によってまちまちであるが、ピントがあった状態で最終撮像面上に映り込んだ泡や異物、付着物等の大きさが撮像素子の画素の大きさ等で与えられる最小分解能( $b$ とおく)の長さの5倍程度(すなわち $5b$ )を超えると気になる場合が多い。この5倍という数字は、複数の被験者に対する複数の種類の画像での実験によって割り出した数字であり、1画素程度の欠落ではさほど気にならないが、5倍程度になると気になってくることが多いという事実に対応したものである。

【0020】

従って、図6(A)～図6(C)において、中間結像面2を撮像素子のある最終像面3に結像する時の像側結像要素のレンズ系11の結像倍率を $\beta 11$ とした場合、中間結像面2近傍での問題となるノイズ発生源の大きさはほぼ、

$$5b / |\beta 11| \quad \dots\dots (式1)$$

以上ということになる。

【0021】

ここで、 $|\beta 11|$ は像側結像要素のレンズ系11の結像倍率を $\beta 11$ の絶対値を表わす。たとえば、撮像素子であるCCDの画素サイズを5ミクロン角とし、 $\beta 11$ を等倍とすれば、中間結像面付近で問題になるノイズ源の大きさは25ミクロン以上ということになる。

【0022】

特に、レンズ系中や光学ブロック中等に中間結像面を形成するようにした光学系においては、中間結像位置の近傍に伝送したい像(物体像)とは無関係なごみ、泡、疵などのノイズ発生源が存在すると、光学性能を大きく低下させる原因となってくる。

【0023】

こうしたノイズ発生源によるノイズが最終像面の像にのってしまふと画像が見にくくなるという問題点が生じてくる。伝送したい像とは無関係なごみ、泡、疵とは、具体的には図7(A)の(共軸系)、図7(B)の(非共軸)に示されるような中間結像面2近傍の内部充填の光学部材中のごみ、泡(図中ではNOと表

示)の場合もあるし、図7(C)の(c)(共軸系)、図7(D)の(非共軸、Off-Axial光学系)に示されるような中間結像面2近傍の光学系の構成面上にできた疵(図中ではNOと表示)の場合もある。

【0024】

また特殊なものとしては、図7(E)に示すようなフィールドレンズ12にフレネルレンズ、回折型レンズを使用した場合のフレネルレンズ、回折型レンズの段差の縞模様Cの場合もある。

【0025】

一般に、こうした、ごみ、泡、疵等のノイズ発生源を目立たなくする方法としては、従来は特開平6-265814号公報等にも示されているように、中間結像面を空気中に配置するように設計し、光学媒体中や、その表面、反射面上に存在するノイズ発生源をデフォーカス状態になるようにすることが一般的である。

【0026】

しかしながら、こうしたデフォーカスによるノイズ発生源を目立たなくさせる方法では、特開平8-292371号公報にも示されるように、光学媒質を一体的に形成して、その内部に中間像を結ばせることにより、小型化を図る光学系においては、内部には空気層が存在しないため、こうした方法は使えないという問題があった。

【0027】

また、特開平6-265814号公報には、中間結像面において意図的に球面収差等の収差を出させて、フィールドレンズとしてのフレネルレンズの縞を目立たなくさせるという実施例も紹介されている。しかしながら、こうした収差の発生は回転対称系を使って収差を出させるために、収差は3次以上のものであり、特に光学系を絞った場合等、暗い光学系では1次で効くデフォーカスによる方法に比べて、効果が小さいという問題があった。

【0028】

また、特開平8-292372号公報にも示されるような、中間像がズームポジションによって移動する場合においては、たとえ、あるズームポジションで中間像を空気中に出しておいても、別のズームポジションでは構成面の表面近くや、

或いは光学媒質中に中間結像面が来ることが起こり、そうした場合には、そのズームポジションではノイズ発生源を目立たなくできないという問題があった。

【0029】

また焦点距離が変化しなくても物体距離が変化する場合は、最終像面はフォーカシングによってあわせることができるが、その際には中間結像面の位置も変化しているので、たとえ1つの物体距離でデフォーカスによって中間像を空気中に出しておいても、別の物体距離では構成面の表面近くや或いは媒質中に中間結像面が来ることが起こり、そうした場合にはその物体距離ではノイズ発生源を目立たなくできないという問題があった。

【0030】

従って、図6(A)～図6(C)において、中間結像面2を撮像素子のある最終像面3に結像する時の像側結像要素のレンズ系11の結像倍率を $\beta 11$ とした場合、中間結像面2近傍での問題となるノイズ発生源の大きさはほぼ、

$$5b/|\beta 11| \dots\dots (式1)$$

以上ということになる。

【0031】

ここで、 $|\beta 11|$ は像側結像要素のレンズ系11の結像倍率を $\beta 11$ の絶対値を表わす。たとえば、撮像素子であるCCDの画素サイズを5ミクロン角とし、 $\beta 11$ を等倍とすれば、中間結像面付近で問題になるノイズ源の大きさは25ミクロン以上ということになる。

【0032】

本発明は物体像を最終像面に至るまでの光路中に少なくとも1回、中間結像させる光学装置において、物体側結像要素のレンズ系および中間像を最終像面に再結像させる像側結像要素のレンズ系を適切に設定することによって、該中間像位置及びその近傍にノイズ発生源が存在する場合であっても最終像面上で前記ノイズ発生源による光強度分布の擾乱を平坦化することにより、最終像面上の画像上のノイズによる擾乱を目立ちにくくし、最終像面において良好なる画像が得られるようにした光学素子及びそれを用いた光学装置の提供を目的とする。

【0033】



## 【課題を解決するための手段】

本発明の光学素子は、

(1-1) 物体像を最終像面に至る前の光路中の中間結像面に少なくとも1回結像させる物体側結像要素および中間結像面に形成した物体像を最終像面に再結像させる像側結像要素を含み、該物体像を最終像面に結像させる光学素子を備え、該物体側結像要素又は該像側結像要素の少なくとも一方はオフアキシヤル曲面を含むオフアキシヤル光学系より成り、該物体側結像要素と像側結像要素の双方の諸収差を制御して、該中間結像面近傍にノイズ発生源が存在する場合に、最終像面上で該ノイズ発生源による光強度分布の擾乱を平坦化していることを特徴としている。

## 【0034】

(1-2) 入射面から入射した光束を複数の反射面のうちの一部の反射面で反射させて、中間結像面に物体像を形成し、該物体像に基づく光束を該複数の反射面のうちの残りの反射面で反射させて出射面より出射させて、所定面上に導光するようにした光学素子であって、該入射面から該中間結像面までに至る物体側結像要素と該中間結像面から出射面までに至る像側結像要素のうち少なくとも一方にはオフアキシヤル曲面が設けられており、該物体側結像要素と像側結像要素の双方の諸収差を制御して該中間結像面近傍に存在するノイズ発生源によって該所定面上に生ずる光強度分布を平坦化していることを特徴としている。

## 【0035】

(1-3) 透明体の表面に設けた入射面から入射した光束を該透明体の表面に設けた複数の反射面のうちの一部の反射面で反射させて、該透明体の内部の中間結像面に物体像を形成し、該物体像に基づく光束を該複数の反射面のうちの残りの反射面で反射させて該透明体の表面に設けた出射面より出射させて、所定面上に導光するようにした光学素子であって、該入射面から該中間結像面までに至る物体側結像要素と該中間結像面から出射面までに至る像側結像要素のうち少なくとも一方にはオフアキシヤル曲面が設けられており、該物体側結像要素と像側結像要素の双方の諸収差を制御して該中間結像面近傍に存在するノイズ発生源によって該所定面上に生ずる光強度分布を平坦化していることを特徴としている。

【0036】

特に、構成(1-1)～(1-3)において

(1-3-1) 前記諸収差の制御は前記中間結像面における前記物体側結像要素の結像性能を劣化させ、該劣化させた結像性能を前記像側結像要素で補正すること。

(1-3-2) 前記オフアキシャル曲面は前記複数の反射面のうちの1つの反射面に設けられていること。

【0037】

(1-3-3) 前記光学素子は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta$  1 1、該絞りの絞り径を固定したときの最終像面上におけるスポットサイズをV、前記中間結像面におけるスポットサイズをUとしたとき

$$V / |\beta 1 1| < U$$

となるように各要素を設定していること。

【0038】

(1-3-4) 前記光学素子は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta$  1 1、該絞りの絞り径を固定したときの最終像面上におけるスポットサイズをV、前記中間結像面におけるスポットサイズをUとしたとき

$$3 \cdot V / |\beta 1 1| < U$$

となるように各要素を設定していること。

【0039】

(1-3-5) 前記光学素子は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta$  1 1、該絞りの絞り径を固定したときの最終像面上におけるスポットサイズをV、前記中間結像面におけるスポットサイズをUとしたとき

$$5 \cdot V / |\beta 1 1| < U$$

となるように各要素を設定していること。

【0040】

(1-3-6) 前記物体側結像要素の中間結像面における結像性能の劣化は軸上から軸外まで画角に依存しない特定の収差を発生させることにより行っていること。

【0041】

(1-3-7) 前記特定の収差は軸上非点収差であること。

【0042】

(1-3-8) 前記物体側結像要素の中間結像面における結像性能の劣化は軸上から軸外まで画角に依存しないで発生する子午断面の光線が子午断面から飛び出すねじれの収差により行っていること。

【0043】

(1-3-9) 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が最小絞り値の時でも問題となる前記ノイズ発生源の最小径の2倍以上になっていること。

【0044】

(1-3-10) 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が最小絞り値の時でも問題となる前記ノイズ発生源の最小径の3倍以上になっていること。

【0045】

(1-3-11) 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が開放の時に問題となる前記ノイズ発生源の最小径の3倍以上になっていること。

【0046】

(1-3-12) 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が開放の時に問題となる前記ノイズ発生源の最小径の5倍以上になっていること。

【0047】

(1-3-13) 前記光学素子は焦点距離の変化しない構造より成っていること。

【0048】

(1-3-14) 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、アナモフィックな屈折力を持つ面を有していること。

【0049】

(1-3-15) 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、共通の対称面を全く持たない光学系より成っていること。

【0050】

(1-3-16) 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、対称性のない面を含んでいること。

等の特徴としている。

【0051】

本発明の光学装置は、

(2-1) 構成(1-1)～(1-3)の光学素子を用いて物体像を撮像素子に結像していることを特徴としている。

【0052】

(2-2) 構成(1-1)～(1-3)の光学素子を複数用いて、そのうち少なくとも2つの光学素子間の相対的位置を変化させて物体像を撮像素子に異なった倍率で結像していることを特徴としている。

【0053】

特に、構成(2-1)又は(2-2)において

(2-2-1) 前記光学素子の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが最小絞り値のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$10 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足すること。

【0054】

(2-2-2) 前記光学素子の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが最小絞り値のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足すること。

【0055】

(2-2-3) 前記光学素子の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが開放のとき前記撮像素子の画素の寸

法で与えられる最小分解能の長さを $b$ 、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足すること。

【0056】

(2-2-4) 前記光学素子の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径を $SD$ とし、該絞りが開放のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さを $b$ 、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$25 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足すること。

【0057】

(2-2-5) 前記少なくとも2つの光学素子間の相対的位置の変化を該光学素子のうち少なくとも一方を基準軸方向に変位させて行っていること。  
等の特徴としている。

【0058】

本発明の光学系は、

(3-1) 物体像を最終像面に至る前の光路中の中間結像面に少なくとも1回結像させる物体側結像要素および中間結像面に形成した物体像を最終像面に再結像させる像側結像要素を含み、該物体像を最終像面に結像させる光学系において、該物体側結像要素又は該像側結像要素の少なくとも一方はオフアキシアル曲面を含むオフアキシアル光学要素より成り、該物体側結像要素と像側結像要素の双方の諸収差を制御して、該中間結像面近傍にノイズ発生源が存在する場合に、最終像面上で該ノイズ発生源による光強度分布の擾乱を平坦化していることを特徴としている。

【0059】

特に、

(3-1-1) 前記オフアキシアル曲面は反射面より成っていること。

【0060】

(3-1-2) 前記諸収差の制御は前記中間結像面における前記物体結像要素の結像性能を劣化させ、該劣化させた結像性能を前記像側結像要素で補正すること。

【0061】

(3-1-3) 前記光学系は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta 1$   
1、該絞りの絞り径を固定したときの前記最終像面におけるスポットサイズを $V$ 、前記中間結像面におけるスポットサイズを $U$ としたとき意図的に

$$V / |\beta 1| < U$$

となるように各要素を設定していること。

【0062】

(3-1-4) 前記光学系は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta 1$   
1、該絞りの絞り径を固定したときの前記最終像面におけるスポットサイズを $V$ 、前記中間結像面におけるスポットサイズを $U$ としたとき

$$3 \cdot V / |\beta 1| < U$$

となるように各要素を設定していること。

【0063】

(3-1-5) 前記光学系は絞りを有しており、前記像側結像要素の結像倍率を $\beta 1$   
1、該絞りの絞り径を固定したときの前記最終像面におけるスポットサイズを $V$ 、前記中間結像面におけるスポットサイズを $U$ としたとき

$$5 \cdot V / |\beta 1| < U$$

となるように各要素を設定していること。

【0064】

(3-1-6) 前記物体側結像要素の中間結像面における結像性能の劣化は軸上から軸外まで画角に依存しない特定の収差を発生させることにより行っていること。

【0065】

(3-1-7) 前記特定の収差は軸上非点収差であること。

【0066】

(3-1-8) 前記物体側結像要素の中間結像面における結像性能の劣化は軸上から軸外まで画角に依存しないで発生する子午断面の光線が子午断面から飛び出すねじれの収差により行っていること。

【0067】

(3-1-9) 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が最小絞り値の時でも問題となる前記ノイズ発生源の最小径の2倍以上になっていること。

【0068】

(3-1-10) 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が最小絞り値の時でも問題となる前記ノイズ発生源の最小径の3倍以上になっていること。

【0069】

(3-1-11) 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が開放の時に問題となる前記ノイズ発生源の最小径の3倍以上になっていること。

【0070】

(3-1-12) 前記中間結像面において発生させる収差による該中間結像面付近でのスポットの径は、系が開放の時に問題となる前記ノイズ発生源の最小径の5倍以上になっていること。

【0071】

(3-1-13) 前記光学素子は焦点距離の変化しない単焦点距離部材より成っていること。

【0072】

(3-1-14) 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、アナモフィックな屈折力を持つ面を有していること。

【0073】

(3-1-15) 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、共通の対称面を持たない光学系より成っていること。

【0074】

(3-1-16) 前記物体側結像要素又は像側結像要素のうち少なくとも一方は、対称性の全くない面を含んでいること。  
等の特徴としている。

【0075】

本発明の光学装置は、

(4-1) 構成(3-1)の光学系を用いて物体像を撮像素子に結像していることを特徴としている。

【0076】

(4-2) 構成(3-2)のいずれかの光学系を少なくとも1つ含む光学装置において、物体の像を最終像面に結像させるトータルな結像光学系は、焦点距離、結像倍率、最終結像面でのピントのうちの少なくとも1つを変化させることができることを特徴としている。

【0077】

特に構成(4-1)又は(4-2)において

(4-2-1) 前記光学系の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが最小絞り値のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta 1$ としたとき

$$10 \cdot b / |\beta 1| < SD$$

を満足すること。

【0078】

(4-2-2) 前記光学系の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが最小絞り値のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta 1$ としたとき

$$15 \cdot b / |\beta 1| < SD$$

を満足すること。

【0079】

(4-2-3) 前記光学系の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが開放のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta 1$ としたとき



$$15 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足すること。

【0080】

(4-2-4) 前記光学系の入射面近傍には絞りが設けられており、前記中間結像面におけるスポット径をSDとし、該絞りが開放のとき前記撮像素子の画素の寸法で与えられる最小分解能の長さをb、前記像側結像素子の結像倍率を $\beta_{11}$ としたとき

$$25 \cdot b / |\beta_{11}| < SD$$

を満足すること。

【0081】

(4-2-5) 前記少なくとも2つの光学系間又は光学系と像面間の相対的位置の変化を該光学系又は像面のうち少なくとも一つを基準軸方向に変位させて行っていること。

【0082】

(4-2-6) 前記光学系の焦点距離、結像倍率、最終結像面でのピントのうち少なくとも1つを変化させることをトータルな光学系を構成する少なくとも1つの部分の光学系のブロックの基準軸の沿っての最終像面に対する相対距離を変化させることによって行うこと。

等の特徴としている。

【0083】

本発明の光学素子は、

(5-1) 構成(3-1)の光学系において、物体からの光束を透明体の表面に形成した入射面で入射させて、該透明体の一部に設けた曲面より成る内面反射の反射面の少なくとも一つで反射させた後に、透明体の射出面から射出させて像を形成する反射光学系、又は、物体からの光束を表面反射鏡より成る複数の反射面で反射を繰り返し、射出するように構成された反射光学系である事の特徴としている。

【0084】

(5-2) 構成(5-1)の光学系において、一体的に形成されている光学素子であることを特徴としている。

【0085】

(5-3) 構成(5-1)の光学系において、一体的に形成されている複数の光学素子からなることを特徴としている。

特に構成(5-1)～(5-3)において、

(5-3-1) 前記光学素子内部に存在する光学性能上問題となる泡や異物等の粒径、または、中間結像位置付近にある表面反射面上の光学性能上問題となる疵の幅や付着物等の粒径をDとし、最も物体側にある入射面から中間結像位置より手前の光学面までのアジムスに依存する合成焦点距離のうち、最大となる該合成焦点距離をf1、そのときのアジムスを $\epsilon$ とし、該中間結像位置での軸上非点隔差をSとし、更に、絞りが開放のときの該アジムス $\epsilon$ に対応する最も物体側にある入射面から該中間結像位置より手前の光学面までの射出瞳の径をAR1とすると、

【0086】

【数5】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| < 0.1 \cdots (1a)$$

となる条件を満足すること。

【0087】

(5-3-2) 絞り径を調整する機能を持つ反射光学系において、前記光学素子内部に存在する光学性能上問題となる泡や異物等の粒径、または、中間結像位置付近にある表面反射面上の光学性能上問題となる疵の幅や付着物等の粒径をDとし、最も物体側にある入射面から中間結像位置より手前の光学面までのアジムスに依存する合成焦点距離のうち、最大となる該合成焦点距離をf1、そのときのアジムスを $\epsilon$ とし、該中間結像位置での軸上非点隔差をSとし、更に、小絞りのときの該アジムス $\epsilon$ に対応する最も物体側にある入射面から該中間結像位置より手前の光学面までの射出瞳の径をAR2とすると、

【0088】

【数6】

$$\left| \frac{D \cdot f_1}{S \cdot AR_2} \right| < 0.3 \dots (2a)$$

となる条件を満足すること。

【0089】

(5-3-3) 前記反射光学系の最も物体側にある入射面から中間結像位置より手前の光学面までのアジマスに依存する合成焦点距離のうち、最大となる該合成焦点距離を  $f_1$ 、そのときのアジムスを  $\xi$  とし、該中間結像位置での軸上非点隔差を  $S$  とし、撮像素子の画素の大きさ等で与えられる最小分解能の長さを  $b$ 、該中間結像位置から撮像素子のある最終像面までの光学系において、該アジマス  $\xi$  と垂直方向での中間結像面を最終像面に結像するときの結像倍率を  $\beta$ 、更に、絞りが開放のときの該アジマス  $\xi$  に対応する最も物体側にある入射面から該中間結像位置より手前の光学面までの射出瞳の径を  $AR_1$  とすると、

【0090】

【数7】

$$\left| \frac{5b \cdot f_1}{|\beta| \cdot S \cdot AR_1} \right| < 0.1 \dots (3a)$$

となる条件を満足すること。

【0091】

(5-3-4) 絞り径を調整する機能を持つ反射光学系において、最も物体側にある入射面から中間結像位置より手前の光学面までのアジマスに依存する合成焦点距離のうち、最大となる該合成焦点距離を  $f_1$ 、そのときのアジムスを  $\xi$  とし、該中間結像位置での軸上非点隔差を  $S$  とし、撮像素子の画素の大きさ等で与えられる最小分解能の長さを  $b$ 、該中間結像位置から撮像素子のある最終像面までの光学系において、該アジマス  $\xi$  と垂直方向での中間結像面を最終像面に結像するときの結像倍率を  $\beta$ 、更に、小絞りのときの該アジマス  $\xi$  に対応する最も物体側にある入射面から該中間結像位置より手前の光学面までの射出瞳の径を  $AR_2$  とすると、

【0092】

【数8】

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR2} \right| < 0.3 \dots (4a)$$

となる条件を満足すること。

【0093】

(5-4) 構成(5-1)～(5-3-4)において、前記透明体である光学素子の入射面が回転対称面であることを特徴としている。

【0094】

(5-5) 構成(5-1)～(5-3-4)において、前記透明体である光学素子の入射面が回転非対称面であることを特徴としている。

【0095】

(5-6) 構成(5-1)～(5-5)において、前記反射光学系の最も物体側にある入射面近傍に絞りを設けたことを特徴としている。

【0096】

(5-7) 構成(5-1)～(5-6)において、前記反射光学系の物体側から数えて第1の曲面の反射面が収斂作用を有することを特徴としている。

【0097】

(5-8) 構成(5-1)～(5-7)において、前記透明体である光学素子の射出面は基準軸に対して回転対称な形状であることを特徴としている。

【0098】

(5-9) 構成(5-1)～(5-7)において、前記透明体である光学素子の射出面は基準軸対して回転非対称な形状であることを特徴としている。

【0099】

(5-10) 構成(5-1)～(5-9)において、前記光学素子は、射出する基準軸の方向に平行に移動してフォーカシングすることを特徴としている。

【0100】

(5-11) 構成(5-3)～(5-10)において、該複数の光学素子を介して物体の像を結

像すると共に、該複数の光学素子のうち、少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることによりズーミングを行うことを特徴としている。

【0101】

(5-12) 構成(5-1)～(5-11)の反射光学系を有し、撮像媒体の撮像面上に前記物体の像を結像することを特徴としている。

【0102】

【発明の実施の形態】

以下説明する各実施形態に、光学装置中に持たせるノイズ発生源による光強度分布の擾乱を平坦化する手段としては、最終結像面の結像性能に対して中間結像位置での結像性能を劣化させて、ノイズ発生源からの像面上で光強度分布の擾乱を平坦化するという光学的手段であるという実施例を示す。

【0103】

なお、最終結像面の結像性能に対して中間結像面における結像性能の劣化させるとは、具体的に言えば、たとえば、「中間結像面2を撮像素子のある最終像面3に結像する時の像側結像部分要素11の結像倍率を $\beta_{11}$ とし、絞り径を固定した時の最終像面でのスポットサイズをVとした場合、中間結像面におけるスポットサイズUが、 $V/|\beta_{11}|$ より意識的に大きくなるように、望ましくは $3V/|\beta_{11}|$ より大きく、更に望ましくは $5V/|\beta_{11}|$ より大きくなるように結像光学系5の構成要素のデータ（面形状、面間隔、屈折率、面と基準軸のなす角度）が設計されていること」である。

【0104】

ここで望ましくは解決する為の手段の欄で用いた3倍という数字は、ノイズ発生源による影響が11%程度に押えられる場合に対応する数字であり、5倍という数字はノイズ発生源による影響が4%程度に押えられる場合に対応する数字であり、実験的に求めた、注意して影響がはじめてわかるレベル、注意しても影響がほとんど分からないレベルに対応する、数字である。

【0105】

ここで本発明中で用いる「スポットサイズ」という用語を明確化しておこう。本発明においては、「スポットサイズ」を「スポットダイヤグラムの重心位置を

中心にして描いた半径  $A_0 / 2$  の円中に、一つの物点からの光束の 90% (光強度の 90%) が含まれる時、この  $A_0$  をスポットサイズと呼ぶ」ものとする。

【0106】

次に本実施形態について順次説明する。

【0107】

図 1 (A) は本発明の光学系の実施形態の要部断面図であり、光路も図示している。図 1 (B) は図 1 (A) の光路中におけるスポットダイヤグラムである。1 は物体面である。5 は曲率を有する複数の反射面が一体に形成された光学素子であり、結像光学系の一要素を構成している。光学素子 5 は透明体光学材料の表面に物体側からの基準軸光線に沿って順に、入射屈折面 10-1 及び鏡 10-2、鏡 10-3、鏡 11-1、鏡 11-2 の 4 つの反射面と射出屈折面 11-3 を形成して、非共軸、Off-Axial 光学系を構成している。

【0108】

2 は中間結像面であり、内部充填の光学材料中に位置している。尚、光学素子 5 を構成する入射面 10-1、出射面 11-3、そして反射面 10-2, 10-3, 11-1, 11-2 の屈折力は正又は負のいずれでも良い。以下、これらを単に「面」ともいう。

【0109】

面 10-1, 10-2, 10-3 は物体側結像要素 (前方要素) 10 を構成し、面 11-1, 11-2, 11-3 は像側結像要素 (後方要素) 11 を構成している。

【0110】

3 は最終像面であり、CCD 等の撮像素子の撮像面が位置する。4 は光学素子 5 の物体側に配置された絞り、La は光学系の基準軸である。

【0111】

次に本実施形態における結像作用を説明する。物体 1 からの光束は、絞り 4 により入射光量を規制された後、光学素子 5 の入射屈折面 10-1 に入射して屈折した後、凹面鏡 10-2 に達する。

【0112】

凹面鏡 10-2 は、物体光束を凸面鏡 10-3 へ反射するとともに、凹面鏡のパワーにより中間結像面 2 上に物体像を一次結像する。

【0113】

このように、早い段階にて光学素子 5 内に物体像を結像することにより、絞り 4 より像側に配置された面の光線有効径の増大を抑制している。

【0114】

中間結像面 2 に一次結像された物体光束は凹面鏡 11-1、凹面鏡 11-2 にて順次反射して、それぞれの反射鏡の持つパワーによる影響を受けて射出屈折面 11-3 に達し、ここで屈折して光学素子 5 から射出する。次いで物体光束は最終像面 3 上に結像する。

【0115】

このように光学素子 5 は、曲率を有する複数の反射鏡による反射を繰り返しながら、所望の光学性能を持ち、全体として結像作用を有して、X 方向と Z 方向に極めて薄いレンズユニットとして機能している。

【0116】

又、本光学系においては、光学素子 5 をその入射基準軸と平行な方向に移動してフォーカシングを行う。

【0117】

又、図 1 は本発明の光学系の一例であって、本発明の光学系としては、この他に例えば曲率を有する複数の反射面が一体に形成された光学素子を複数個配置し、複数の光学素子を有する場合、又複数の光学素子をそれぞれ移動して変倍（ズーム）を行う変倍光学系がある。

【0118】

尚、本発明の光学系はビデオカメラやスチルビデオカメラ及び複写機等に組み込んで使用している。

【0119】

次に本実施形態の各要素を詳述する。一般に非共軸、Off-Axial 光学系においては、特開平 9-5650 号公報にも記されているように、基準軸 La と構成面の面法線が一致していないため、基準軸 La と面法線とを含む面 P（Y

Z面)内と、面法線を含み面Pとは垂直な面Q(XY面)内では、面の曲率が同じでも違った光学的パワーを持つことになる。

#### 【0120】

したがって、Off-Axial光学系においては、構成面は一般にアナモルフィックな面である。構成面がアナモルフィックな面であれば、共軸回転対称系では対称性のゆえに生じることのなかった、すべての画角において画角に依存しない非点収差(軸上非点収差)を出すことが可能である。

#### 【0121】

この軸上非点収差については従来の回転対称系では発生しない収差の為、今まで収差論の文献等ではあまりまとまった議論をされたことがないので、以下に説明する。この軸上非点収差は画角に依存せず発生する収差であり、回転対称性がない系においてのみ存在する種類の収差である。

#### 【0122】

そしてこの収差は画角に依存せず瞳径の1次に依存する1次の収差である。この収差が1次であることは光学トレースをすれば容易に確認できるが軸上非点収差の場合は光学的パワーがアジマスによって違うと考えることもできるので、平均的パワーに対する評価面で見した場合、大半のアジマスではデフォーカスと同等の次数で発生する収差、つまり1次の収差が出ることは直感的にも理解できる。

#### 【0123】

こうした軸上非点収差は物体側結像要素、像側結像要素がアナモフィックで回転非対称なパワーを持つことで発生させることができる。オフアキシアル光学系は曲率が直交する2方向で同じでも異なったパワーを持つので、こうした収差は発生させやすい。

#### 【0124】

このため、従来の瞳径の3次で発生する回転対称的な球面収差に比べて中間結像の劣化が大きく、その効果は1次であるためにデフォーカスと同等の効果を持たせることができる。

#### 【0125】

この様子は図8に示した中間結像面上での横収差の模式図を使って説明すれば



分かりやすい。特に暗い光学系では3次の収差ではなかなか中間結像の性能が劣化しないのに対し、1次の収差では傾いた直線になる為に劣化が3次収差に比べて大きく出せるということをこの図は示している。

## 【0126】

通常の光学系の設計では、収差をできるだけとる（少なくする）ように設計を行なうが、本発明においては、中間結像面2においてはできるだけ、収差を出すという逆転の発想をしている。

## 【0127】

つまり、本実施形態の図1の光学系では図1(B)のスポットダイアグラムの概念図に示されるように、中間結像面2（軸上非点収差がある時は、スポットが線状になる2個所のデフォーカス位置の中間の位置を以って便宜上、中間結像面2と定義することにする。）では画角に依存しない非点収差（軸上非点収差）を持つように物体側結像要素10を形成している、面10-1、10-2、10-3を設計している。

## 【0128】

そして、その軸上非点収差を打ち消すように像側結像要素11を構成する面11-1、11-2、11-3を設計している。つまり、物体側結像要素10、像側結像要素11のそれぞれ単独だけでは軸上非点収差を持つが、物体側結像要素10と像側結像要素11とをあわせた全系としての結像光学系5としては収差補正されている光学系を構成している。

## 【0129】

このように物体側結像要素10、像側結像要素11において、画角に依存しない非点収差（軸上非点収差）を出しておけば、中間結像面2付近にごみ、泡、疵等のノイズ発生源があっても軸上非点収差のために、そのノイズ発生源によって、物体面1上の物点からの画像情報のすべてがケラれることはないので、またノイズ発生源は最終結像面3においては点として結像せず軸上非点収差によってボケた状態になるので、ノイズ発生源からの像面上での光強度分布の擾乱は平坦化されていることになる。

## 【0130】

一般に中間結像面2において意識的に発生させる軸上非点収差による中間結像面2付近でのスポットの大きさについては、ノイズ発生源によるノイズの許容限界仕様によって異なるが、最小絞り値においても問題となるノイズ発生源の大きさ（撮像素子の分解能と関連があり、ほぼ前出の（式1）で与えられる。）の2倍以上望ましくは3倍以上の大きさがあれば、ノイズ源によってケラれる光量は大まかな見積りとしては、ほぼ径の比の2乗で効いてくるので、25パーセント（実験的に言って、影響はわかるが、何とか許容できるレベル）以下、望ましくは11パーセント（実験的に言って、注意して見てようやく影響がわかるレベル）以下になるので、すべての絞り値においても、ノイズ発生源からの像面上での光強度分布の擾乱は平坦化されるという効果を持つ。つまり、撮像素子の画素等の大きさと与えられる最小分解能 $b$ に対しては、中間結像面2を撮像素子のある最終像面3に結像する時の像側結像要素11の結像倍率を $\beta_{11}$ とした場合、（前出の（式1））の2倍以上望ましくは3倍以上ということで、

$$10 \cdot b / |\beta_{11}| \cdots \cdots \text{（式2）以上}$$

望ましくは

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| \cdots \cdots \text{（式3）以上}$$

大きさがあれば、すべての絞り値においても、ノイズ発生源からの像面上での光強度分布の擾乱は平坦化されるという効果を持つ。

【0131】

ここで、 $|\beta_{11}|$ は像側結像要素11の結像倍率を $\beta_{11}$ の絶対値を表わす。

【0132】

また違った見方の仕様として、絞りを開放にしたときにノイズ発生源が目立たなくできるという仕様においては、絞りが開放で、意識的に発生させる軸上非点収差による中間結像面付近でのスポットの大きさが問題となるノイズ発生源の大きさ（撮像素子の分解能と関連があり、ほぼ前出の（式1）で与えられる。）の3倍以上望ましくは5倍以上の大きさがあればノイズ発生源による光量の擾乱は絞りを開放にすれば、11パーセント（実験的に言って、注意して見てようやく影響がわかるレベル）程度望ましくは4パーセント（実験的に言って、注意して見ても影響がほとんどわからないレベル）程度に押さえることができる。

## 【0133】

つまり、撮像素子の画素等の大きさで与えられる最小分解能  $b$  に対しては、中間結像面 2 を撮像素子のある最終像面 3 に結像する時の像側結像要素 11 の結像倍率を  $\beta_{11}$  とした場合、(前出の(式1))の3倍以上望ましくは5倍以上ということで、

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| \cdots \cdots \text{(式4) 以上}$$

望ましくは

$$25 \cdot b / |\beta_{11}| \cdots \cdots \text{(式5) 以上}$$

大きさがあれば、ノイズ発生源による光量の擾乱は絞りを開放にすれば、11パーセント(実験的に言って、注意して見てようやく影響がわかるレベル)程度望ましくは4パーセント程度(実験的に言って、注意して見ても影響がほとんどわからないレベル)に押さえることができる。

## 【0134】

ここで、 $|\beta_{11}|$  は像側結像要素 11 の結像倍率を  $\beta_{11}$  の絶対値を表わす。

## 【0135】

なお、この実施形態ではノイズ発生源としては、図7(B)のタイプで話を進めたが、タイプ(D)(内部充填タイプだけでなく中空タイプも含む)、タイプ(E)でも全く同様である。

## 【0136】

またここでは、発生させる収差は簡単のため、画角に依存せず全画角で一様に発生するものとして話を進めたが、一般にはそうした成分をバイアス成分として含んでいることが重要である。従って、画角に依存せず全画角で一様に発生する成分をバイアス成分として含んでおり全画角でほぼ上記スポットの大きさの条件を満たしていれば、画角に依存する収差成分がのっていても、本発明には含まれる。

## 【0137】

図2(A)は本発明の光学系の実施形態2の一部分の概念図である。図2(A)は光路図の1断面の一部を示している。図2(B)は内部結像面2近傍のスポットダイアグラムのデフォーカス特性の説明図である。

## 【0138】

図2 (a) において結像光学系5は、非共軸、Off-Axial 光学系であり、図1 (A) とほぼ同様の光路図なので、中間結像面2近傍のみ描いてある。図1 (A) と同様に、物体側結像要素10を形成している、面10-1、10-2、10-3および、像側結像要素11を形成している面11-1、11-2、11-3は一体に作られており中間結像面2は内部充填の光学材料中に位置している。

## 【0139】

ここで実施形態1と違うのは、中間結像面2で意識的に発生させる収差の種類である。一般に非共軸、Off-Axial 光学系においては、軸上非点収差の他に、軸上から軸外まで画角に依存せず発生し、子午断面の光線が子午断面から飛び出す名づけて「ねじれの収差」が存在する。

## 【0140】

本実施形態では、この「ねじれの収差」を発生させて、中間結像面2での結像性能を劣化させている。この「ねじれの収差」については、従来の回転対称系では存在しないため、以下に詳しく説明する。

## 【0141】

これは、たとえば、図2 (A) (したがって図1 (A)) の構成面10-1、10-2、10-3、11-1、11-2、11-3の少なくとも一つがこの図の紙面の上下に対して、対称性を持たないならば、物点のアジマスと入射瞳4面上のアジマスが等しい光線群（子午断面内の光線群と呼ばれるもので、図3 (A) では紙面内に含まれる光線群が相当する）であっても、その対称性を持たない面を通過した後の、光線群は子午断面の平面内に収まることがなくなり、お互いの光線は3次元空間内で図3 (B) に示すような「ねじれの関係」を持ったものになる。

## 【0142】

そのため、お互いにねじれの関係にある光線群は一点で集光することがなくなる。また、同じ物点から射出し同じ瞳径で瞳のアジマスが異なる部分を通る円錐状の光線群においても、その対称性を持たない面を通過した後はお互いに3次元

空間内でのねじれの関係になるために、図3 (C) に示すような包絡面が一葉双曲面を構成することになる。このような、光線群のスポットダイアグラムの概念図が図2 (B) である。

【0143】

一般に、こうしたねじれは系の対称性の欠如によって生じるが、光線トレースによって容易に確認できるように、そのねじれの量の最低次数は1次である。従ってこの「ねじれの収差」も瞳径の1次に依存する1次の収差である。このため、この収差も軸上非点収差と同様に図8に示した横収差の模式図に示すように、従来の瞳径の3次でも発生する回転対称的な球面収差に比べて、中間結像の劣化が大きく、その効果は1次であるためにデフォーカスと同等の効果を持たせることができる。

【0144】

具体的には、この収差は物体側結像要素、像側結像要素中に共通な対称面がないこと、つまり面の表現式で $C_{11}$ の成分を持つ面を持たせることによって生じさせることができる。この $C_{11}$ がかかわっていることからいっても、1次の収差であることは明らかである。

【0145】

ここで成分 $C_{11}$ は特開平9-5650号公報の明細書中の(数式1)に示している。具体的には、物体面から像面に至る基準波長の光路(基準軸)が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではない曲面(Off-Axial曲面)を含む光学系の、Off-Axial曲面の形状を、上記交点を原点としz軸を面法線とした座標系で2次の項から始まる

$$z(x,y)=C_{20}x^2+2C_{11}xy+C_{02}y^2+D_{30}x^3+3D_{21}x^2y+3D_{12}xy^2+D_{03}y^3 \\ +E_{40}x^4+4E_{31}x^3y+6E_{22}x^2y^2+4E_{13}xy^3+E_{04}y^4+\dots \quad (\text{数式1})$$

で定義している。

【0146】

こうした収差をもつ系での中間結像面2は、スポットの径が一番細くなるデフォーカスをとるのが自然なのでそのようにとることにすれば、実施形態1と全く同様の議論ができる。(「ねじれの収差」は画角に依存しない。しかし、この収

差は回転対称系では発生しない種類の収差である。) 通常の光学系の設計では、収差をできるだけとるように設計を行なうが、この実施形態においても、中間結像面2においてはできるだけ、収差を出すという逆転の発想をする。

## 【0147】

つまり、本実施形態の図2の光学系では図2(B)のスポットダイアグラムの概念図に示されるように、中間結像面2では画角に依存せず発生し、スポットサイズが瞳径に比例するという性質を持つ「ねじれの収差」を持つように、物体側結像要素10を形成している面10-1、10-2、10-3が設計している。

## 【0148】

そして、その「ねじれの収差」を打ち消すように像側結像要素11を構成する面11-1、11-2、11-3を設計している。つまり、物体側結像要素10、像側結像要素11それぞれ単独だけでは「ねじれの収差」を持つが、物体側結像要素10と像側結像要素11とをあわせた全系としての結像光学系5としては収差補正されている光学系を構成している。

## 【0149】

このように物体側結像要素10、像側結像要素11において、画角に依存しない「ねじれの収差」を出しておけば、中間結像面2付近にごみ、泡、疵等のノイズ発生源があっても「ねじれの収差」のために、そのノイズ発生源によって、物体面1上の物点からの画像情報のすべてがケラれることはないので、またノイズ発生源は最終結像面3においては点として結像せず「ねじれの収差」によってボケた状態になるので、ノイズ発生源からの像面上での光強度分布の擾乱は平坦化されていることになる。

## 【0150】

一般に中間結像面において意識的に発生させる「ねじれの収差」による中間結像面付近でのスポットの大きさについては、ノイズ発生源によるノイズの許容限界仕様によって異なるが、実施形態1と同様に、最小絞り値においても問題となるノイズ発生源の大きさ(撮像素子の分解能と関連があり、ほぼ前出の(式1)で与えられる。)の2倍以上望ましくは3倍以上の大きさがあれば、実施形態1と同様に、ノイズ源によってケラれる光量は大まかな見積りで25パーセント(実

驗的に言って、影響はわかるが、何とか許容できるレベル) 以下、望ましくは11パーセント(実験的に言って、注意して見てようやく影響がわかるレベル) 以下になるので、すべての絞り値においても、ノイズ発生源からの像面上での光強度分布の擾乱は平坦化されるという効果を持つ。

【0151】

つまり、撮像素子の画素等の大きさと与えられる最小分解能  $b$  に対しては、中間結像面2を撮像素子のある最終像面3に結像する時の像側結像要素11の結像倍率を  $\beta_{11}$  とした場合、(前出の(式1))の2倍以上望ましくは3倍以上とすることで、

$$10 \cdot b / |\beta_{11}| \dots\dots (式2) \text{ 以上}$$

望ましくは

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| \dots\dots (式3) \text{ 以上}$$

大きさがあれば、すべての絞り値においても、ノイズ発生源からの像面上での光強度分布の擾乱は平坦化されるという効果を持つ。

【0152】

ここで、 $|\beta_{11}|$  は像側結像要素11の結像倍率  $\beta_{11}$  の絶対値を表わす。また違った見方の仕様として、絞りを開放にしたときにノイズ発生源が目立たなくできるという仕様においては、絞りが開放で、意識的に発生させる「ねじれの収差」による中間結像面付近でのスポットの大きさが問題となるノイズ発生源の大きさ(撮像素子の分解能と関連があり、ほぼ前出の(式1)で与えられる。)の3倍以上望ましくは5倍以上の大きさがあればノイズ発生源による光量の擾乱は絞りを開放にすれば、11パーセント(実験的に言って、注意して見てようやく影響がわかるレベル)程度望ましくは4パーセント(実験的に言って、注意して見ても影響がほとんどわからないレベル)程度に押さえることができる。

【0153】

つまり、撮像素子の画素等の大きさと与えられる最小分解能  $b$  に対しては、中間結像面2を撮像素子のある最終像面3に結像する時の像側結像要素11の結像倍率を  $\beta_{11}$  とした場合、(前出の(式1))の3倍以上望ましくは5倍以上とすることで、

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| \dots\dots (式4) \text{ 以上}$$

望ましくは

$$25 \cdot b / |\beta_{11}| \dots\dots (式5) \text{ 以上}$$

大きさがあれば、ノイズ発生源による光量の擾乱は絞りを開放にすれば、11パーセント（実験的に言って、注意して見てようやく影響がわかるレベル）程度望ましくは4パーセント（実験的に言って、注意して見ても影響がほとんどわからないレベル）程度に押さえることができる。ここで、 $|\beta_{11}|$ は像側結像要素11の結像倍率 $\beta_{11}$ の絶対値を表わす。

【0154】

なお、この実施形態ではノイズ発生源としては、図8（B）のタイプで話を進めたが、タイプ（D）（内部充填タイプだけでなく中空タイプも含む）、タイプ（E）でも全く同様である。

【0155】

また、図2（A）のような光路図を持ち、画角に依存せず瞳径にのみ依存し、回転対称系では存在しないような高次の収差（瞳径への依存の次数が「ねじれの収差」より高次の2次となる）に、軸上コマ収差（偏心コマ収差とも呼ばれる）があるが、この収差は次数が高い分だけ「ねじれの収差」よりもぼけさせる効果が小さくはなるが、それでも回転対称系での最低次数の3次の球面収差に比べては大きい。この収差も画角に依存せず発生する非対称な収差という意味では同様に中間像をぼかす効果を持つので効果は実施形態2と全く同様である。

【0156】

ここでも、発生させる収差は簡単のため、画角に依存せず全画角で一様に発生するものとして話を進めたが、一般にはそうした成分をバイアス成分として含んでいることが重要である。従って、画角に依存せず全画角で一様に発生する成分をバイアス成分として含んでおり全画角でほぼ上記スポットの大きさの条件を満たしていれば、画角に依存する収差成分がのっていても、本発明には含まれる。

【0157】

図4は本発明の光学系の実施形態3の要部概念図である。この実施形態においては、中間結像する光学系は単レンズではなくズーム光学系である。この実施形



態に対応するオフアキシアル光学系に対するズーム光学系は特開平8-292372号公報に開示されており、物体面1の像を中間結像させ、その中間像を最終像面に結像させている。

## 【0158】

図4は実施形態3における、光路図の1断面である。本実施形態は今まで実施形態1から2までに示した考え方をこのズーム光学系に拡張した場合の概念図であり、図4には光学要素B1からB3で示される3つのブロックが、基準軸La方向に相対移動して焦点距離、倍率、最終像面のピントを変える3群ズームの例として示してある。

## 【0159】

広角端から望遠端への変倍に際しては光学要素B1は固定、光学要素B2はZ軸プラス方向に凸の軌跡で前後移動し、光学要素B3はZ軸マイナス方向への移動、最終像面3は固定という構成の例である。この図には、各ズームステートでの3つの内部結像面2-1、2-2、2-3近傍のスポットダイアグラムのデフォーカス特性は示していないが、その特性は実施形態1または実施形態2のそれと同様である。

## 【0160】

一般に、焦点距離を変えたり、結像倍率を変えたりすれば、中間結像面の位置はそれに応じて変化する。こうした場合、中間結像面での結像特性を意識的に劣化させておかなければ、ある焦点距離のある結像倍率で、ゴミ、泡、疵等のノイズ発生源がたまたまその中間結像面になくて目立たない場合であっても、違う焦点距離、結像倍率では中間結像面が移動するため見えてくる場合も多い。

## 【0161】

そこで、本実施形態では、Off-Axial光学系の面形状の非対称性の自由度を利用して、すべてのズームステートにおいて、中間結像面上での結像特性を意識的に劣化させた上で、最終結像面3での収差はおさえる構成にしている。

## 【0162】

一般的に言って、Off-Axial光学系においては、面の表現の上で回転対称系では値が0であった、非対称性を表わす係数が多く使えるためにこうした

設計は可能である。一般に中間結像面において意識的に発生させる画角に依存しない収差による中間結像面付近でのスポットの大きさについては、ノイズ発生源によるノイズの許容限界仕様によって異なるが、実施形態1と同様に、最小絞り値においても問題となるノイズ発生源の大きさ（撮像素子の分解能と関連があり、ほぼ前出の（式1）で与えられる。）の2倍以上望ましくは3倍以上の大きさがあれば、ノイズ源によってケラれる光量は大まかな見積りで25パーセント（実験的に言って、影響はわかるが、何とか許容できるレベル）以下、望ましくは11パーセント（実験的に言って、注意して見てようやく影響がわかるレベル）以下になるので、すべての絞り値においても、ノイズ発生源からの像面上での光強度分布の擾乱は平坦化されるという効果を持つ。

【0163】

つまり、撮像素子の画素等の大きさと与えられる最小分解能 $b$ に対しては、中間結像面2を撮像素子のある最終像面3に結像する時の像側結像要素11の結像倍率を $\beta_{11}$ とした場合、（前出の（式1））1/2倍以上望ましくは3倍以上ということで、

$$10 \cdot b / |\beta_{11}| \quad \dots\dots (式2) \text{ 以上}$$

望ましくは

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| \quad \dots\dots (式3) \text{ 以上}$$

大きさがあれば、すべての絞り値においても、ノイズ発生源からの像面上での光強度分布の擾乱は平坦化されるという効果を持つ。

【0164】

ここで、 $|\beta_{11}|$ は像側結像要素11の結像倍率 $\beta_{11}$ の絶対値を表わす。また違った見方の仕様として、絞りを開放にしたときにノイズ発生源が目立たなくできるという仕様においては、絞りが開放で、意識的に発生させる画角に依存しない収差による中間結像面付近でのスポットの大きさが問題となるノイズ発生源の大きさ（撮像素子の分解能と関連があり、ほぼ前出の（式1）で与えられる。）の3倍以上望ましくは5倍以上の大きさがあればノイズ発生源による光量の擾乱は絞りを開放にすれば、11パーセント（実験的に言って、注意して見てようやく影響がわかるレベル）程度望ましくは4パーセント（実験的に言って、注意

して見ても影響がほとんどわからないレベル) 程度に押さえることができる。

【0165】

つまり、撮像素子の画素等の大きさで与えられる最小分解能  $b$  に対しては、中間結像面 2 を撮像素子のある最終像面 3 に結像する時の像側結像要素 11 の結像倍率を  $\beta_{11}$  とした場合、(前出の(式1)) の3倍以上望ましくは5倍以上ということで、

$$15 \cdot b / |\beta_{11}| \quad \dots\dots (式4) \text{ 以上}$$

望ましくは

$$25 \cdot b / |\beta_{11}| \quad \dots\dots (式5) \text{ 以上}$$

大きさがあれば、ノイズ発生源による光量の擾乱は絞りを開放にすれば、11パーセント(実験的に言って、注意して見てようやく影響がわかるレベル)程度望ましくは4パーセント(実験的に言って、注意して見ても影響がほとんどわからないレベル)程度に押さえることができる。

【0166】

ここで、 $|\beta_{11}|$  は像側結像要素 11 の結像倍率を  $\beta_{11}$  の絶対値を表わす。ここでも、発生させる収差は簡単のため、画角に依存せず全画角で一様に発生するものとして話を進めたが、一般にはそうした成分をバイアス成分として含んでいることが重要である。

【0167】

従って、画角に依存せず全画角で一様に発生する成分をバイアス成分として含んでおり全画角でほぼ上記スポットの大きさの条件を満たしていれば、画角に依存する収差成分がのっていても、本発明には含まれる。

【0168】

なお、今までの4つの実施形態での説明では、問題となるノイズ源の大きさとして(式1)程度のものを中心に議論してきた。これは、一般的には管理されたプロセスで製造された光学系内に存在するごみ等のノイズ源は、径が小さいものほど多く、径が大きくなるにつれて急激に数が減少していくという事実(図5の模式的グラフ参照)に即して、影響のあるノイズ源で一番数の多いものに着目したためである。

【0169】

しかしながら、一般に問題となるノイズ源の大きさが（式1）以上のものも存在する。一般に、光束が一部でもケラれないで最終像面に届く場合は、光量の問題はあっても情報は最終像面まで伝わるのに対し、中間結像面でのスポット径が、その位置に存在するノイズ源と同じ大きさの時、物体面からの光束は完全にケラれるために、物体面からの情報はその部分だけ完全に欠落することになる。この完全欠落した情報は画像処理等の処理を行なっても復元はむずかしい。このことをふまえて、実施形態中で述べてきた中間結像面でのスポットの径が、問題となる最小ノイズ発生源の径  $r_0$  に対して「最小絞り値の時でも2倍以上望ましくは3倍以上」、または「絞り開放の時に3倍以上望ましくは5倍以上」と大きくなることの意味を説明する。

【0170】

一般に、中間結像面でのスポット径が大きくなるということは、情報を完全に欠落させるノイズ源の大きさがそれに伴って大きくなることを意味する。このことは、図5に模式的にグラフを示すように、管理されたプロセスで製造された光学系内に存在するごみ等のノイズ源は、径が小さいものほど多く、径が大きくなるにつれて急激に数が減少していくという事実をふまえれば、中間結像面でのスポット径を大きくするにつれて情報を完全に欠落させるノイズ源の数が急激に減少していくということを意味する。（図5中の斜線部分は中間結像面でのスポット径が  $r_0$  の5倍の場合の情報を完全欠落させるノイズ源の数に対応するもので、スポット径が  $r_0$  の場合に比べて急激に減少している。）このことは、結像光学系のノイズ源による不良率が、中間結像面でのスポット径を大きくするにつれて急激に小さくなることに対応するものである。

【0171】

次に、本発明の実施形態4～9を説明する前に、本発明に係る光学素子（光学系とも言う。）の構成諸元の表し方及び各実施形態の共通事項について説明する。図24は本発明の光学素子の構成データを定義する座標系の説明図である。本発明の光学素子では物体側から像面に進む1つの光線（図24中の一点鎖線で示すもので基準軸光線と呼ぶ）に沿って  $i$  番目の面を第  $i$  面とする。図24におい

て第1面R1は絞り、第2面R2は第1面と共軸な屈折面、第3面R3は第2面R2に対してチルトされた反射面、第4面R4、第5面R5は各々の前面に対してシフト、チルトされた反射面、第6面R6は第5面R5に対してシフト、チルトされた屈折面である。第2面R2から第6面R6までの各々の面はガラス、プラスチック等の媒質で構成される一つの光学素子上に構成されており、図24中では光学素子10としている。

## 【0172】

従って、図24の構成では不図示の物体面から第2面R2までの媒質は空気、第2面R2から第6面R6まではある共通の媒質、第6面R6から不図示の第7面R7までの媒質は空気で構成されている。

## 【0173】

本発明の光学素子はOff-Axial 光学系を構成しているため光学素子を構成する各面は共通の光軸を持っていない。そこで、本発明の実施形態においては先ず第1面の光線有効径の中心を原点とする絶対座標系を設定する。

## 【0174】

そして、本発明の実施形態においては、第1面の光線有効径の中心点を原点とすると共に、原点と最終結像面の中心とを通る光線（基準軸光線）の経路を光学系の基準軸と定義している。さらに、本実施形態中の基準軸は方向（向き）を持っている。その方向は基準軸光線が結像に際して進行する方向である。

## 【0175】

本発明の実施形態においては、光学素子の基準となる基準軸を上記の様に設定したが、光学系の基準となる軸の決め方は光学設計上、収差の取り纏め上、若しくは光学系を構成する各面形状を表現する上で都合の良い軸を採用すれば良い。しかし、一般的には像面の中心と、絞り又は入射瞳又は射出瞳又は光学系の第1面の中心若しくは最終面の中心のいずれかを通る光線の経路を光学系の基準となる基準軸に設定する。

## 【0176】

つまり、本発明の実施形態においては、基準軸は第1面、即ち絞り面の光線有効径の中心点を通り、最終結像面の中心へ至る光線（基準軸光線）が各屈折面及

び反射面によって屈折・反射する経路を基準軸に設定している。各面の順番は基準軸光線が屈折・反射を受ける順番に設定している。従って基準軸は設定された各面の順番に沿って屈折若しくは反射の法則に従ってその方向を変化させつつ、最終的に像面の中心に到達する。

【0177】

本発明の各実施形態の光学素子を構成するチルト面は基本的にすべてが同一面内でチルトしている。そこで、絶対座標系の各軸を以下のように定める。

【0178】

Z 軸：原点を通り第 2 面 R2 に向かう基準軸

Y 軸：原点を通りチルト面内（図 24 の紙面内）で Z 軸に対して反時計回りに  $90^\circ$  をなす直線

X 軸：原点を通り Z、Y 各軸に垂直な直線（図 24 の紙面に垂直な直線）

また、光学素子を構成する第 i 面の面形状を表すには、絶対座標系にてその面の形状を表記するより、基準軸と第 i 面が交差する点を原点とするローカル座標系を設定して、ローカル座標系でその面の面形状を表した方が形状を認識する上で理解し易い為、本発明の構成データを表示する実施形態では第 i 面の面形状をローカル座標系で表わす。

【0179】

また、第 i 面の YZ 面内でのチルト角は絶対座標系の Z 軸に対して反時計回り方向を正とした角度  $\theta_i$ （単位 $^\circ$ ）で表す。よって、本発明の実施形態では各面のローカル座標の原点は図 24 中の YZ 平面上にある。また XZ および XY 面内での面の偏心はない。さらに、第 i 面のローカル座標  $(x, y, z)$  の  $y, z$  軸は絶対座標系  $(X, Y, Z)$  に対して YZ 面内で角度  $\theta_i$  傾いており、具体的には以下のように設定する。

【0180】

z 軸：ローカル座標の原点を通り、絶対座標系の Z 方向に対し YZ 面内において反時計方向に角度  $\theta_i$  をなす直線

y 軸：ローカル座標の原点を通り、z 方向に対し YZ 面内において反時計方向に  $90^\circ$  をなす直線

x 軸：ローカル座標の原点を通り、YZ 面に対し垂直な直線

また、 $D_i$ は第  $i$  面と第  $(i+1)$  面のローカル座標の原点間の間隔を表すスカラー量、 $N_{di}$ 、 $\nu_{di}$ は第  $i$  面と第  $(i+1)$  面間の媒質の屈折率とアッペ数である。

## 【0181】

また、本発明の実施形態では光学素子の断面図及び数値データを示す。また、本発明の後述する実施形態 8 の光学系は複数の光学素子の移動により全体の焦点距離を変化する（変倍をする）。実施形態 8 では広角端(W)、望遠端(T)とこれらの中間位置(M)の三つの位置での光学系断面図、数値データを示す。

## 【0182】

ここで、図 24 の光学素子において YZ 面内で光学素子が移動すると各変倍位置で値が変わるのは各面の位置を表すローカル座標の原点 ( $Y_i$ ,  $Z_i$ ) であるが、数値データを挙げた実施形態 8 では変倍のために移動する光学素子は Z 方向の移動のみとして表しているため、座標値  $Z_i$  を光学系が広角端、中間、望遠端の状態の順に  $Z_i(W)$ 、 $Z_i(M)$ 、 $Z_i(T)$  で表すこととする。

## 【0183】

なお、各面の座標値は広角端での値を示し、中間、望遠端では広角端との差で記述する。具体的には広角端(W)に対する中間位置(M)、望遠端(T)での移動量を各々  $a, b$  とすれば、以下の式で表す：

$$Z_i(M) = Z_i(W) + a$$

$$Z_i(T) = Z_i(W) + b$$

なお、 $a, b$  の符号は各面が Z プラス方向に移動する場合を正、Z マイナス方向に移動する場合を負としている。また、この移動に伴い変化する面間隔  $D_i$  は変数であり、各変倍位置での値を別表にまとめて示す。

## 【0184】

本発明の実施形態は球面及び回転非対称の非球面を有している。その内の球面部分は球面形状としてその曲率半径  $R_i$  を記している。曲率半径  $R_i$  の符号は第 1 面から像面に進む基準軸（図 24 中の一点鎖線）に沿って曲率中心が第 1 面側にある場合をマイナス、結像面側にある場合をプラスとする。

## 【0185】

球面は以下の式で表される形状である：

【0186】

【数9】

$$z = \frac{(x^2 + y^2)/Ri}{1 + \left\{1 - (x^2 + y^2)/Ri^2\right\}^{1/2}}$$

また、本発明の光学素子は少なくとも回転非対称な非球面を一面以上有し、その形状は以下の式により表す：

【0187】

【数10】

$$A = (a + b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t \left[ 1 + \left\{ (b - a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b) \right\} + \left\{ 1 + \left\{ (b - a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b) \right\} - \left\{ y^2 / (a \cdot b) \right\} - \left\{ 4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a + b)^2 \sin^2 t \right\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t) \right\}^{1/2} \right]$$

として

$$Z = A/B + c02y^2 + c20x^2 + c03y^3 + c21x^2y + c04y^4 + c22x^2y^2 + c40x^4$$

上記曲面式はx に関して偶数次の項のみであるため、上記曲面式により規定される曲面はyz面を対称面とする面对称な形状である。さらに以下の条件が満たされる場合はxz面に対して対称な形状を表す。

【0188】

$$C03 = C21 = 0, \quad t = 0$$

さらに

$$C02 = C20 \quad C04 = C40 = C22/2$$

が満たされる場合は回転対称な形状を表す。以上の条件を満たさない場合は非回転対称な形状である。

【0189】

なお、本発明の各実施形態においては図24に示すように、その第1面は絞りである。また、水平半画角 $\alpha_Y$ とは図24のYZ面内において絞りR1に入射する光束の最大画角、垂直半画角 $\alpha_X$ とはXZ面内において絞りR1に入射する光束の最大画角



である。また、第1面である絞りR1の直径を絞り径として示している。これは光学系の明るさに関係する。なお、入射瞳は第1面に位置するため上記絞り径は入射瞳径に等しい。

## 【0190】

また、像面上での有効像範囲を像サイズとして示す。像サイズはローカル座標のy方向のサイズを水平、x方向のサイズを垂直とした矩形領域で表している。

## 【0191】

また、構成データを挙げている実施例についてはその横収差図を示す。横収差図は各実施例について、絞りR1への垂直入射角、水平入射角が夫々 $(uX, uY)$ ,  $(uX, 0)$ ,  $(uX, uY)$ ,  $(0, uY)$ ,  $(0, 0)$ ,  $(0, -uY)$ となる入射角の光束の横収差を示す。

## 【0192】

実施形態8については広角端(W)、中間位置(M)、望遠端(T)の状態について横収差を示す。横収差図においては、横軸は瞳への入射高さを表し、縦軸は収差量を表している。各実施形態とも基本的に各面がyz面を対称面とする面对称の形状となっている為、横収差図においても垂直面角のプラス、マイナス方向は同一となるので、図の簡略化の為に、マイナス方向の横収差図は省略している。

## 【0193】

また、光学素子内部に存在する光学性能上問題となる泡や異物の粒径、又は、表面反射面上の疵の幅や付着物等の粒径Dは10~100  $\mu\text{m}$ 程度となるが、ここでは粒径Dは35  $\mu\text{m}$ を例として話を進める。また、粒径Dは主に不良品とみなす検査基準であると見なすことができる。さらに、撮像素子であるCCDの画素サイズを6  $\mu\text{m}$ 角、つまり分解能bを6  $\mu\text{m}$ として話を進める。

## 【0194】

また、泡や異物、付着物等による光量低下は、最小スポットの幅が泡や異物、付着物等の大きさよりも広ければ最小スポットの面積と泡や異物、付着物等の面積で決まり、最小スポットの幅が泡や異物、付着物等の大きさよりも狭ければ最小スポットの長さや泡や異物等の大きさで決まる。

## 【0195】

以下、各実施形態について説明する。

【0196】

次に前述の(1a)、(2a)、(3a)、(4a)の条件の意味について説明する。なお、合成焦点距離の計算は特開平9-5650号公報を参照して計算した。また、画角に依存しない非点収差を発生させた場合、光学系の焦点距離の値はアジムスに依存して変化する。

【0197】

画角に依存しない非点収差を発生させた光学系の焦点距離のうち、最大となる焦点距離を $f_{\max}$ とし、軸上非点隔差をS、焦点距離 $f_{\max}$ に対応する射出瞳の径をRとすると、軸上光線の光スポットが最初に直線状になったときの光スポットの長さは

【0198】

【数11】

$$\left| \frac{R \cdot S}{f_{\max}} \right|$$

と表すことができる。

【0199】

つまり、条件(1a)、(3a)の左辺は該光学素子内に存在する問題となる泡や異物等の粒径、又は、表面反射面上の疵の幅や付着物等の粒径(D、または、 $5b/|\beta|$ )と絞りが開放のときの中間結像位置での該直線状の光スポットの長さの比を表している。画角に依存しない非点収差を発生させた場合、泡や異物、付着物等による影響は光スポットが直線状になった時が一番大きく、条件(1a)、(3a)の左辺が小さければ小さいほど泡や異物、付着物等による光量低下は少ない。しかし、条件(1a)、(3a)の左辺が小さすぎると収差補正上好ましくない。

【0200】

また、非点収差を発生させた場合には光スポットは二回直線状になるが、最初に直線状になったときの光スポットの長さの方が短くなる。よって、ここで問題となるのは最初に直線状になったときの光スポットである。また、条件(2a)

、(4a)は絞りが小絞りのときを考慮した条件である。

#### 【0201】

泡や異物、付着物等による光量低下をどれくらいに抑えればよいかは感光材や受光素子などに依存するが、条件(1a)、(2a)を満たしていれば開放のときに光量低下を10%以下に抑えることができ、10%程度の光量低下であれば、泡や異物、付着物等の画像への影響は目立ちにくい。また、条件(3a)、(4a)を満たしていれば絞りが小絞りのときに光量低下を30%以下に抑えることが可能である。小絞りの径が小さければ小さいほど、条件(3a)、(4a)の左辺を開放のときと同様に小さくすることは難しく、収差補正上好ましくない。しかし、30%程度の光量低下であれば、電氣的な補正をすることが可能であり、電氣的な補正を併用することにより泡や異物、付着物等の画像への影響を絞りが開放の時と同等に減らすことが可能である。

#### 【0202】

図9は本発明の実施形態4の光学系のYZ面内での断面図である。本実施形態は水平画角63.4度、垂直画角49.6度の撮影光学系である。図9には光路も図示している。

#### 【0203】

また、本実施形態は中間結像位置で画角に依存しない非点収差を発生させていて、

#### 【0204】

##### 【数12】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 3.86}{0.79 \times 2} = 0.086 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 3.86}{0.98 \times 0.79 \times 2} = 0.075 < 0.1$$

となり条件(1a)、(3a)を満たしている。

#### 【0205】

本実施形態の構成データは次のとおりである。

【0206】

水平半面角 31.7

垂直半面角 24.8

絞り径 2.00

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

i	Yi	Zi	$\theta_i$	Di	Ndi	$v_{di}$	
1	0.00	0.00	0.00	1.12	1		絞り
2	0.00	1.12	0.00	7.49	1.58310	30.20	屈折面
3	0.00	8.61	18.49	9.86	1.58310	30.20	反射面
4	-5.93	0.73	0.58	9.30	1.58310	30.20	反射面
5	-11.38	8.28	-16.00	8.90	1.58310	30.20	反射面
6	-11.97	-0.61	-24.51	9.39	1.58310	30.20	反射面
7	-19.45	5.06	-26.42	8.02	1.58310	30.20	反射面
8	-19.45	-2.96	0.00	3.68	1		屈折面
9	-19.45	-6.64	-0.00		1		像面

球面形状

R 2 面  $r_2 = -9.921$

R 8 面  $r_8 = 9.764$

非球面形状

R 3 面  $a = -1.11675e+01$   $b = -1.26065e+01$   $t = 2.80750e+01$

$C03 = 3.54262e-04$   $C21 = -1.11331e-05$

$C04 = 3.48452e-05$   $C22 = 1.63301e-04$   $C40 = 1.67279e-04$

R 4 面  $a = -2.52460e+00$   $b = 4.41616e+00$   $t = -3.55268e+01$

$C03 = -4.00282e-03$   $C21 = -5.33693e-03$

$C04 = 1.64937e-03$   $C22 = 1.34006e-03$   $C40 = -5.90675e-04$

R 5 面  $a = -6.17120e+00$   $b = 1.69072e+01$   $t = -2.95634e+01$

$C03 = -6.52258e-04$   $C21 = -1.37521e-03$

$C04 = 2.48644e-05$   $C22 = -1.37172e-04$   $C40 = -1.48694e-04$

R 6 面  $a = -9.06348e+02$   $b = -9.17518e+02$   $t = 8.32864e+01$

$$C03= 9.11828e-04 \quad C21=-2.36281e-05$$

$$C04=-7.11253e-05 \quad C22=-4.01035e-04 \quad C40=-4.11690e-04$$

$$R7面 \quad a = -1.95290e+01 \quad b = -2.20227e+02 \quad t = -1.50576e-01$$

$$C03= 2.80664e-04 \quad C21=-6.98915e-04$$

$$C04= 5.82181e-07 \quad C22=-7.51310e-05 \quad C40=-1.54783e-04$$

図9において、20は複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体で構成している。光学素子20の表面には物体からの光線の通過順に、負の屈折力を有する凹屈折面（入射面）R2及び凹面鏡R3・凸面鏡R4・凹面鏡R5・反射面R6・凹面鏡R7の五つの反射面及び正の屈折力を有する凸屈折面（射出面）R8を形成している。R1は光学素子20の物体側に配置した絞り、R9は最終結像面であり、CCD等の撮像素子の撮像面が位置する。なお、2つの屈折面はいずれも回転対称の球面であり、すべての反射面はYZ平面のみに対して対称な面である。

#### 【0207】

入射面R2から中間結像面の物体側までの面(R3)が物体側結像要素、中間結像面の像面側の面R4から最終面(R8)までが像側結像要素である。以下の各実施形態でも同じである。

#### 【0208】

次に本実施形態における結像作用を説明する。物体からの光束21は、絞り（入射瞳）R1により入射光量を規制された後、光学素子20の入射面R2に入射し、面R3で反射された後、面R3とR4の間で一旦結像し、次いで面R4,R5,R6,R7で次々に反射して行き、射出面R8から射出し、最終結像面R9上に再結像する。

#### 【0209】

この様に光学素子20は、入出射面による屈折力と、その中での複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

#### 【0210】

本実施形態においては、近距離物体へのフォーカシングは光学素子20全体を撮像素子の撮像面R9に対して移動させることで行う。とくに本実施形態においては、光学素子20に入射する基準軸の方向と光学素子20から射出する基準軸の

方向は平行であるため、光学素子全体を射出する基準軸の方向（Z 軸方向）に平行に移動させる事で、従来のレンズ系と同様にフォーカシング動作を行うことができる。また、本実施形態の光学素子の横収差図を図10に示す。本実施形態はバランスの良い収差補正状態が得られている。

## 【0211】

次に、本実施形態の効果を説明する。図25は図6（C）に示す従来の反射光学系（光学素子）の中間結像面付近での軸上と軸外の最小スポットを示している。この場合、粒径 $35\mu\text{m}$ の泡や異物が最小スポット位置に存在すると軸上では最小スポットの面積が約 $3535\mu\text{m}^2$ となり、粒径 $35\mu\text{m}$ の泡や異物の面積は約 $962\mu\text{m}^2$ であるので約27.2%の光量が失われる。一方、軸外では最小スポットの面積が約 $9210\mu\text{m}^2$ となり、約10.4%の光量が失われることがわかる。軸外では収差が多く発生しているために泡や異物による光量低下は少ない。

## 【0212】

図26は本実施形態4の中間結像面付近での軸上と軸外の最小スポットを示している。粒径 $35\mu\text{m}$ の泡や異物が最小スポット位置に存在した場合、図から判断して、軸上では最小スポットの面積が約 $11094\mu\text{m}^2$ で約8.7%の光量低下となり、軸外では最小スポットの面積が約 $35487\mu\text{m}^2$ で約2.7%の光量低下で済むことになる。

## 【0213】

なお、問題となる泡や異物の大きさを $5b/|\beta|$ とした場合、 $5b/|\beta|=5\times 6/0.98=30.6\mu\text{m}$ であり、面積は約 $735\mu\text{m}^2$ となるので、光量低下は軸上では約6.6%、軸外では約2.1%となる。

## 【0214】

図11は本発明の実施形態5の光学系のYZ面内での断面図である。本実施形態は水平画角63.4度、垂直画角49.6度の撮影光学系である。図11は光路も図示している。

## 【0215】

また、本実施形態は中間結像位置で画角に依存しない非点収差を発生させている。本実施形態は絞りが小絞りの時の泡や異物の画像への影響を考慮している。

本実施形態では小絞りのときのFナンバーを8としている。

【0216】

条件(2a)、(4a)の左辺を計算すると、

【0217】

【数13】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR2} \right| = \frac{0.035 \times 4.06}{1.35 \times 0.405} = 0.26 < 0.3$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR2} \right| = \frac{0.03 \times 4.06}{0.96 \times 1.35 \times 0.405} = 0.23 < 0.3$$

となり条件(2a)、(4a)を満たしている。

【0218】

更に、条件(1a)、(3a)の左辺を計算すると、

【0219】

【数14】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 4.06}{1.35 \times 2} = 0.053 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 4.06}{0.96 \times 1.35 \times 2} = 0.047 < 0.1$$

となり、開放のときの条件(1a)、(3a)も満たしている。

【0220】

本実施形態の構成データは次のとおりである。

【0221】

水平半画角 31.7  
 垂直半画角 24.8  
 絞り径 2.00  
 像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

i Yi Zi θi Di Ndi v di

1	0.00	0.00	0.00	0.84	1		絞り
2	0.00	0.84	0.00	7.49	1.62191	45.07	屈折面
3	0.00	8.33	18.49	9.86	1.62191	45.07	反射面
4	-5.93	0.45	0.58	9.30	1.62191	45.07	反射面
5	-11.38	8.00	-16.00	8.90	1.62191	45.07	反射面
6	-11.97	-0.89	-24.51	9.39	1.62191	45.07	反射面
7	-19.45	4.78	-26.42	8.02	1.62191	45.07	反射面
8	-19.45	-3.24	0.00	3.73	1		屈折面
9	-19.45	-6.96	-0.00		1		像面

球面形状

R 2 面  $r_2 = -9.401$

R 8 面  $r_8 = 10.100$

非球面形状

R 3 面  $a = -1.14746e+01$   $b = -1.26394e+01$   $t = 3.26910e+01$

$C03 = 4.07416e-04$   $C21 = -6.56910e-05$

$C04 = -2.83800e-05$   $C22 = 2.03793e-04$   $C40 = 2.56598e-04$

R 4 面  $a = -2.64358e+00$   $b = 4.22672e+00$   $t = -4.50100e+01$

$C03 = -4.16081e-03$   $C21 = -8.82585e-03$

$C04 = 1.45602e-03$   $C22 = 1.84420e-03$   $C40 = 1.08907e-03$

R 5 面  $a = -6.18502e+00$   $b = 1.68729e+01$   $t = -3.02355e+01$

$C03 = -7.11179e-04$   $C21 = -1.41368e-03$

$C04 = 5.16166e-05$   $C22 = -1.42863e-04$   $C40 = -1.46709e-04$

R 6 面  $a = -7.85347e+02$   $b = -7.93496e+02$   $t = 8.37924e+01$

$C03 = 8.07938e-04$   $C21 = 1.69711e-04$

$C04 = -8.35098e-06$   $C22 = -4.44966e-04$   $C40 = -5.08840e-04$

R 7 面  $a = -1.90604e+01$   $b = -1.73227e+02$   $t = -7.44028e-01$

$C03 = 3.37625e-04$   $C21 = -5.13706e-04$

$C04 = 4.72892e-05$   $C22 = -9.63384e-05$   $C40 = -2.04003e-04$

図 1 1 中、20 は複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体



で構成している。光学素子 20 の表面には物体からの光線の通過順に、負の屈折力を有する凹屈折面（入射面）R2及び凹面鏡R3・凸面鏡R4・凹面鏡R5・反射面R6・凹面鏡R7の五つの反射面及び正の屈折力を有する凸屈折面（射出面）R8を形成している。R1は光学素子 20 の物体側に配置した絞り、R9は最終結像面であり、CCD 等の撮像素子の撮像面が位置する。なお、2つの屈折面はいずれも回転対称の球面であり、すべての反射面はYZ平面のみに対して対称な面である。

## 【0222】

次に本実施形態における結像作用を説明する。物体からの光束 21 は、絞り（入射瞳）R1により入射光量を規制された後、光学素子 20 の入射面R2に入射し、面R3で反射された後、面R3とR4の間で一旦結像し、次いで面R4,R5,R6,R7 で次々に反射して行き、射出面R8から射出し、最終結像面R9上に再結像する。

## 【0223】

この様に光学素子 20 は、入出射面による屈折力と、その中での複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

## 【0224】

本実施形態においては、近距離物体へのフォーカシングは光学系（光学素子）全体を撮像素子の撮像面R9に対して移動させることで行う。とくに本実施形態においては、光学素子 20 に入射する基準軸の方向と光学素子 20 から射出する基準軸の方向は平行であるため、光学系全体を射出する基準軸の方向（Z 軸方向）に平行に移動させる事で、従来のレンズ系と同様にフォーカシング動作を行うことができる。また、本実施形態の光学系の横収差図を図 12 に示す。

## 【0225】

次に、本実施形態の効果を説明する。図 27 は図 6（C）に示す従来の反射光学系において、絞りを  $F/8$  まで絞ったときの中間結像面付近での軸上と軸外の最小スポットを示している。この場合、粒径  $35\mu\text{m}$  の泡や異物が最小スポット位置に存在すると軸上ではほとんどの光量が失われ、軸外では最小スポットの長さが約  $70\mu\text{m}$  で約 50% の光量が失われることがわかる。図 28 は本実施形態において、絞りを  $F/8$  まで絞ったときの中間結像面付近での軸上と軸外の最小ス

ットを示している。粒径 $35\mu\text{m}$ の泡や異物が最小スポット位置に存在した場合、図から判断して軸上では最小スポットの長さが約 $125\mu\text{m}$ となり約28%の光量低下、軸外では最小スポットの長さが約 $125\mu\text{m}$ となり約28%の光量低下で済むことになる。

【0226】

なお、問題となる泡や異物の大きさを $5b/|\beta|$ とした場合、 $5b/|\beta|=5\times 6/0.96=31.3\mu\text{m}$ であるので、光量低下は軸上、軸外ともに約25%になる。

【0227】

小絞りのときは、条件(3a)、(4a)の左辺を開放のときと同様に小さくすることは難しく、収差補正上好ましくない。しかし、30%程度の光量低下であれば、電氣的な補正をすることが可能であり、電氣的な補正を併用することにより画像の影響を減らすことができる。

【0228】

図13は本発明の実施形態6の光学系のYZ面内での断面図である。本実施形態は水平画角 $63.4^\circ$ 、垂直画角 $49.6^\circ$ の撮影光学系である。図13は光路も図示している。

【0229】

また、本実施形態は中間結像位置で画角に依存しない非点収差を発生させていて、

【0230】

【数15】

$$\left| \frac{D \cdot f_1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 3.34}{0.99 \times 1.62} = 0.073 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f_1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 3.34}{0.97 \times 0.99 \times 1.62} = 0.064 < 0.1$$

となり条件(1a)、(3a)を満たしている。

【0231】

本実施形態の構成データは次のとおりである。なお、本実施形態は入射面が回

転非対称な面形状をしている。

【0232】

水平半面角 31.7

垂直半面角 24.8

絞り径 1.62

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

i	Yi	Zi	$\theta_i$	Di	Ndi	$v_{di}$	
1	0.00	0.00	0.00	2.25	1		絞り
2	0.00	2.25	0.00	7.49	1.58310	30.20	屈折面
3	0.00	9.74	18.75	9.86	1.58310	30.20	反射面
4	-6.00	1.92	1.04	9.27	1.58310	30.20	反射面
5	-11.37	9.47	-16.80	8.94	1.58310	30.20	反射面
6	-11.65	0.53	-28.33	9.41	1.58310	30.20	反射面
7	-19.67	5.45	-29.24	8.95	1.58310	30.20	反射面
8	-19.67	-3.51	0.00	4.10	1		屈折面
9	-19.67	-7.61	0.00		1		像面

球面形状

R 8 面  $r_8 = 11.178$

非球面形状

R 2 面  $a = \infty$   $b = \infty$   $t = 0$

C02=-8.40171e-02 C20=-5.56507e-03

C03= 0.00000e+00 C21= 0.00000e+00

C04= 8.39926e-04 C22=-1.25469e-03 C40= 2.31772e-04

R 3 面  $a = -1.13143e+01$   $b = -1.24404e+01$   $t = 1.58590e+01$

C03= 7.85133e-05 C21= 6.09238e-05

C04= 2.73849e-05 C22= 8.98778e-05 C40= 9.20652e-05

R 4 面  $a = -2.26845e+00$   $b = 5.04617e+00$   $t = -2.74808e+01$

C03= 8.07790e-04 C21=-2.78687e-03

C04= 5.10033e-05 C22= 7.62339e-04 C40=-7.53257e-04

R 5 面  $a = -6.11825e+00$   $b = 1.71331e+01$   $t = -2.13714e+01$

$C03 = -4.59621e-04$   $C21 = -7.81713e-04$

$C04 = -5.79810e-05$   $C22 = -1.68453e-04$   $C40 = -1.05899e-04$

R 6 面  $a = -7.93207e+02$   $b = -7.93752e+02$   $t = 8.03054e+01$

$C03 = 7.05489e-04$   $C21 = 2.44661e-04$

$C04 = -1.48850e-04$   $C22 = -3.20082e-04$   $C40 = -1.41576e-04$

R 7 面  $a = -2.11107e+01$   $b = -1.23419e+03$   $t = -2.87104e+01$

$C03 = -2.90841e-04$   $C21 = -8.50288e-04$

$C04 = -2.04956e-06$   $C22 = -4.18670e-05$   $C40 = -1.79566e-05$

図 13 中、20 は複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体で構成している。光学素子 20 の表面には物体からの光線の通過順に、負の屈折力を有する回転非対称な屈折面（入射面）R2 及び凹面鏡 R3・凸面鏡 R4・凹面鏡 R5・反射面 R6・凹面鏡 R7 の五つの反射面及び正の屈折力を有する凸屈折面（射出面）R8 を形成している。R1 は光学素子 20 の物体側に配置した絞り、R9 は最終結像面であり、CCD 等の撮像素子の撮像面が位置する。なお、射出面は回転対称の球面であり、すべての反射面は YZ 平面のみに対して対称な面である。

### 【0233】

次に本実施形態における結像作用を説明する。物体からの光束 1 は、絞り（入射瞳）R1 により入射光量を規制された後、光学素子 20 の入射面 R2 に入射し、面 R3 で反射された後、面 R3 と R4 の間で一旦結像し、次いで面 R4, R5, R6, R7 で次々に反射して行き、射出面 R8 から射出し、最終結像面 R9 上に再結像する。

### 【0234】

この様に光学素子 20 は、入出射面による屈折力と、その中での複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

### 【0235】

本実施形態においては、近距離物体へのフォーカシングは光学系全体を撮像素子の撮像面 R9 に対して移動させることで行う。とくに本実施形態においては、光学素子 20 に入射する基準軸の方向と光学系から射出する基準軸の方向は平行で

であるため、光学系全体を射出する基準軸の方向（Z 軸方向）に平行に移動させる事で、従来のレンズ系と同様にフォーカシング動作を行うことができる。また、本実施形態の光学系の横収差図を図14に示す。

【0236】

本実施形態の効果を説明する。中間結像面付近での軸上と軸外の最小スポットはあえて図示しないが、粒径 $35\mu\text{m}$ の泡や異物が最小スポット位置に存在した場合、軸上では最小スポットの長さが約 $470\mu\text{m}$ となり約7.4%の光量低下、軸外では最小スポットの長さが約 $460\mu\text{m}$ となり約7.6%の光量低下で済むことになる。

【0237】

なお、問題となる泡や異物の大きさを $5b/|\beta|$ とした場合、 $5b/|\beta|=5\times 6/0.97=30.9\mu\text{m}$ であるので、光量低下は軸上では約6.6%、軸外では約6.7%となる。

【0238】

さらに、入射面が回転非対称な面形状であるため、該入射面が回転対称面のときよりも中間結像位置で画角に依存しない非点収差を発生しやすくなっている。また、該入射面が入射瞳に近い構造であるため、画角に対してほぼ均一に非点収差を発生させることが可能である。

【0239】

図15は本発明の実施形態7の光学系のYZ面内での断面図である。本実施形態は水平画角 $63.4^\circ$ 、垂直画角 $49.6^\circ$ の撮影光学系である。図15は光路も図示している。

【0240】

また、本実施形態は中間結像位置で画角に依存しない非点収差を発生させていて、

【0241】

【数16】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 3.19}{1.21 \times 1.62} = 0.057 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 3.19}{1.01 \times 1.21 \times 1.62} = 0.048 < 0.1$$

となり条件 (1 a)、(3 a) を満たしている。

【0242】

本実施形態の構成データを以下に示す。なお、本実施形態は入射面、射出面が回転非対称な面形状をしている。

【0243】

水平半面角 31.7

垂直半面角 24.8

絞り径 1.62

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

i	Yi	Zi	θi	Di	Ndi	v di	
1	0.00	0.00	0.00	1.34	1		絞り
2	0.00	1.34	0.00	7.49	1.58310	30.20	屈折面
3	0.00	8.82	18.75	9.86	1.58310	30.20	反射面
4	-6.00	1.00	1.04	9.27	1.58310	30.20	反射面
5	-11.37	8.55	-16.80	8.94	1.58310	30.20	反射面
6	-11.65	-0.39	-28.33	9.41	1.58310	30.20	反射面
7	-19.67	4.53	-29.24	8.00	1.58310	30.20	反射面
8	-19.67	-3.47	0.00	3.76	1		屈折面
9	-19.67	-7.22	0.00		1		像面

非球面形状

R 2 面 a = ∞ b = ∞ t = 0

C02=-1.72863e-01 C20=-3.43785e-02

C03= 0.00000e+00 C21= 0.00000e+00

C04=-1.14063e-02 C22=-2.25445e-02 C40=-6.18574e-03

R 3 面  $a = -1.16716e+01$   $b = -1.32422e+01$   $t = 3.13484e+00$   
 $C03 = -1.43087e-04$   $C21 = 2.64110e-05$   
 $C04 = 7.52835e-06$   $C22 = -2.92736e-05$   $C40 = -3.03489e-05$

R 4 面  $a = -2.40442e+00$   $b = 4.33821e+00$   $t = 1.33231e+01$   
 $C03 = 4.85362e-03$   $C21 = 6.99637e-03$   
 $C04 = -2.90654e-04$   $C22 = -1.09311e-03$   $C40 = -6.71405e-04$

R 5 面  $a = -6.08378e+00$   $b = 1.77655e+01$   $t = -2.39551e+01$   
 $C03 = -7.75363e-04$   $C21 = -5.50043e-04$   
 $C04 = -1.00179e-04$   $C22 = -2.64182e-04$   $C40 = -1.49464e-04$

R 6 面  $a = -4.05845e+02$   $b = -4.05368e+02$   $t = 8.32433e+01$   
 $C03 = 6.14312e-04$   $C21 = 2.18334e-03$   
 $C04 = -2.16629e-04$   $C22 = -8.99316e-04$   $C40 = -5.26979e-04$

R 7 面  $a = -1.84127e+01$   $b = -1.30993e+02$   $t = 3.36693e+01$   
 $C03 = -8.02648e-05$   $C21 = 3.23663e-04$   
 $C04 = 1.45200e-05$   $C22 = -3.16738e-04$   $C40 = -1.89870e-04$

R 8 面  $a = \infty$   $b = \infty$   $t = 0$   
 $C02 = 8.68816e-02$   $C20 = 9.42024e-02$   
 $C03 = 0.00000e+00$   $C21 = 0.00000e+00$   
 $C04 = -9.26017e-05$   $C22 = -3.95347e-03$   $C40 = -2.63504e-03$

図 15 中、20 は複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体で構成している。光学素子 20 の表面には物体からの光線の通過順に、負の屈折力を有する回転非対称な屈折面（入射面）R2 及び凹面鏡 R3・凸面鏡 R4・凹面鏡 R5・反射面 R6・凹面鏡 R7 の五つの反射面及び正の屈折力を有する回転非対称な屈折面（射出面）R8 を形成している。R1 は光学素子 20 の物体側に配置した絞り、R9 は最終結像面であり、CCD 等の撮像素子の撮像面が位置する。なお、すべての反射面は YZ 平面のみに対して対称な面である。

#### 【0244】

次に本実施形態における結像作用を説明する。物体からの光束 1 は、絞り（入射瞳）R1 により入射光量を規制された後、光学素子 20 の入射面 R2 に入射し、面

R3で反射された後、面R3とR4の間で一旦結像し、次いで面R4,R5,R6,R7 で次々に反射して行き、射出面R8から射出し、最終結像面R9上に再結像する。

【0245】

この様に光学素子20は、入出射面による屈折力と、その中での複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

【0246】

本実施形態においては、近距離物体へのフォーカシングは光学系全体を撮像素子の撮像面R9に対して移動させることで行う。とくに本実施形態においては、光学素子20に入射する基準軸の方向と光学系から射出する基準軸の方向は平行であるため、光学系全体を射出する基準軸の方向（Z 軸方向）に平行に移動させる事で、従来のレンズ系と同様にフォーカシング動作を行うことができる。また、本実施形態の光学系の横収差図を図16に示す。

【0247】

本実施形態の効果を説明する。中間結像面付近での軸上と軸外の最小スポットはあえて図示しないが、粒径 $35\mu\text{m}$ の泡や異物が最小スポット位置に存在した場合、軸上では最小スポットの面積が約 $18600\mu\text{m}^2$ となり約5.2%の光量低下、軸外では最小スポットの面積が約 $30800\mu\text{m}^2$ となり約3.1%の光量低下で済むことになる。

【0248】

なお、問題となる泡や異物の大きさを $5b/|\beta|$ とした場合、 $5b/|\beta|=5\times 6/1.01=29.7\mu\text{m}$ であり、面積約 $693\mu\text{m}^2$ はとなるので、光量低下は軸上では約3.7%、軸外では約2.3%となる。

【0249】

さらに、入射面が回転非対称な面形状であるため、該入射面が回転対称面の場合よりも中間結像位置で画角に依存しない非点収差を発生しやすくなっている。また、該入射面が入射瞳に近い構造であるため、画角に対してほぼ均一に非点収差を発生させることが可能である。さらに、射出面が回転非対称な面形状であるため、入射面で発生したディストーションなどの非対称な収差の発生を低減する



ことが可能である。

【0250】

図17は本発明の実施形態8のYZ面内での光学断面図である。同図において（A）は広角端、（B）は中間、（C）は望遠端を示している。本実施形態は変倍比約3倍の3つの光学素子22、23、24より成る三群ズームレンズの撮像光学系である。その構成データを以下に記す。

【0251】

また、本実施形態は中間結像位置で画角に依存しない非点収差を発生させている。

【0252】

	広角端	中間	望遠端				
水平半画角	26.3	13.9	9.3				
垂直半画角	20.3	10.5	7.0				
絞り径	1.30	2.60	3.86				
i	Yi	Zi(W)	$\theta_i$	Di	Ndi	$v_{di}$	
1	0.00	0.00	0.00	2.00	1		絞り
2	0.00	2.00	0.00	10.82	1.57250	57.76	屈折面
3	0.00	12.82	32.01	10.00	1.57250	57.76	反射面
4	-8.99	8.43	15.57	9.00	1.57250	57.76	反射面
5	-13.87	15.99	-2.17	8.20	1.57250	57.76	反射面
6	-17.79	8.79	-14.41	8.70	1.57250	57.76	反射面
7	-25.11	13.48	-28.67	5.50	1.57250	57.76	反射面
8	-25.11	7.98	0.00	変数	1		屈折面
9	-25.11	7.10	0.00	5.70	1.57250	57.76	屈折面
10	-25.11	1.40	25.00	7.50	1.57250	57.76	反射面
11	-19.37	6.22	20.00	7.60	1.57250	57.76	反射面
12	-18.05	-1.27	20.00	7.50	1.57250	57.76	反射面
13	-12.30	3.55	25.00	5.50	1.57250	57.76	反射面
14	-12.30	-1.95	0.00	変数	1		屈折面

特平 10-179706

15	-12.30	-8.76	0.00	7.00	1.57250	57.76	屈折面
16	-12.30	-15.76	-28.09	9.80	1.57250	57.76	反射面
17	-20.44	-10.31	-11.24	10.00	1.57250	57.76	反射面
18	-25.99	-18.63	-0.30	9.50	1.57250	57.76	反射面
19	-31.35	-10.78	13.51	10.00	1.57250	57.76	反射面
20	-40.12	-15.58	30.67	7.00	1.57250	57.76	反射面
21	-40.12	-8.58	0.02	変数	1		屈折面
22	-40.12	-6.29	0.00	4.00	1.51633	64.15	屈折面
23	-40.12	-2.29	0.00	1.00	1		屈折面
24	-40.12	-1.29	0.00		1		像面

広角端 中間 望遠端

D 8 0.89 5.36 7.69

D14 6.81 4.55 3.37

D21 2.29 4.49 5.65

D 1 ~ 8面  $Z_i(M) = Z_i(W) + 0.00$   $Z_i(T) = Z_i(W) + 0.00$

D 9 ~ 14面  $Z_i(M) = Z_i(W) - 4.47$   $Z_i(T) = Z_i(W) - 6.81$

D15 ~ 21面  $Z_i(M) = Z_i(W) - 2.20$   $Z_i(T) = Z_i(W) - 3.36$

D22 面  $Z_i(M) = Z_i(W)$   $Z_i(T) = Z_i(W)$

球面形状

R 2 面  $r_2 = -14.727$

R 8 面  $r_8 = -7.999$

R 9 面  $r_9 = -15.217$

R14 面  $r_{14} = 8.191$

R15 面  $r_{15} = -51.658$

R21 面  $r_{21} = 6.898$

R22 面  $r_{22} = \infty$

R23 面  $r_{23} = \infty$

非球面形状

R 3 面  $C_{02} = -1.94302e-02$   $C_{20} = -3.52403e-02$

C03=-6.05005e-05 C21= 3.34313e-04  
 C04=-2.64740e-05 C22=-5.50680e-05 C40=-6.85730e-05  
 R 4 面 C02= 9.17779e-05 C20=-6.18233e-02  
 C03=-6.22285e-05 C21= 1.56326e-03  
 C04=-1.20412e-04 C22=-5.94589e-04 C40= 3.43423e-04  
 R 5 面 C02=-1.79880e-02 C20=-4.47169e-02  
 C03=-2.19676e-04 C21=-3.43409e-05  
 C04=-4.20166e-05 C22=-1.02203e-04 C40=-1.42044e-04  
 R 6 面 C02=-8.01208e-03 C20=-3.52443e-02  
 C03=-7.49991e-04 C21= 3.10102e-03  
 C04=-1.17900e-04 C22=-1.05389e-03 C40=-1.33235e-03  
 R 7 面 C02=-2.51729e-02 C20=-3.30317e-02  
 C03=-2.07597e-04 C21= 1.88406e-04  
 C04=-2.43897e-05 C22=-8.46174e-05 C40=-2.65298e-05  
 R10 面 C02= 1.93480e-02 C20= 6.98052e-04  
 C03=-4.46652e-04 C21=-1.76685e-03  
 C04= 1.41004e-06 C22=-2.87544e-04 C40=-1.02043e-04  
 R11 面 C02=-1.77224e-02 C20=-2.86382e-02  
 C03=-8.52261e-04 C21=-1.67811e-03  
 C04=-1.40330e-04 C22=-1.73460e-05 C40=-8.74184e-07  
 R12 面 C02= 2.78627e-02 C20= 1.30724e-02  
 C03= 1.48986e-05 C21= 2.35448e-03  
 C04= 1.13038e-04 C22= 1.41561e-03 C40= 4.99584e-04  
 R13 面 C02=-3.52058e-02 C20=-9.12630e-02  
 C03= 2.06469e-03 C21= 4.97992e-03  
 C04= 9.30915e-05 C22=-5.25179e-04 C40=-1.07144e-04  
 R16 面 C02= 1.89481e-02 C20= 5.89085e-02  
 C03= 3.76913e-04 C21= 7.92483e-04  
 C04= 2.95432e-05 C22= 1.71436e-04 C40= 1.60251e-04

R17 面  $C02 = -8.27640e-03$   $C20 = -2.90095e-02$   
 $C03 = 4.98465e-04$   $C21 = -8.54262e-03$   
 $C04 = 4.17911e-05$   $C22 = -8.35501e-04$   $C40 = -2.96432e-04$

R18 面  $C02 = 1.49383e-02$   $C20 = 2.79447e-02$   
 $C03 = 3.45413e-04$   $C21 = -6.67856e-04$   
 $C04 = 7.14602e-05$   $C22 = 9.57676e-05$   $C40 = -1.09444e-05$

R19 面  $C02 = -2.78032e-03$   $C20 = 3.47409e-03$   
 $C03 = 3.05230e-04$   $C21 = -1.29009e-03$   
 $C04 = 1.34108e-04$   $C22 = 6.74071e-05$   $C40 = -1.81113e-05$

R20 面  $C02 = 2.64689e-02$   $C20 = 1.11119e-02$   
 $C03 = 9.29169e-05$   $C21 = -7.42810e-04$   
 $C04 = 1.94555e-05$   $C22 = 3.83296e-05$   $C40 = -4.37073e-05$

図 17 において、第 1 面 R1 は入射瞳である絞り面、第 2 面 R2 ~ 第 8 面 R8 は第 1 光学素子 22、第 9 面 R9 ~ 第 14 面 R14 は第 2 光学素子 23、第 15 面 R15 ~ 第 21 面 R21 は第 3 光学素子 24 である。

#### 【0253】

25 は平行平板よりなる光学補正板であり、水晶を材料とするローパスフィルターや赤外カットフィルター等から構成している。第 23 面 R23 は最終像面である撮像素子面であり、例えば CCD（撮像媒体）等の撮像面である。

#### 【0254】

以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。

#### 【0255】

まず、第 1 面 R1 を通過した光束は第 1 の光学素子 22 に入射する。第 1 の光学素子 22 内では第 2 面 R2 で屈折、第 3 面 R3、第 4 面 R4、第 5 面 R5、第 6 面 R6、第 7 面 R7 で反射、第 8 面 R8 で屈折し、第 1 の光学素子 22 を射出する。ここで、第 4 面 R4 付近で中間結像をする。

#### 【0256】

次に光束は第 2 の光学素子 23 に入射する。第 2 の光学素子 23 内では第 9 面 R9 で屈折、第 10 面 R10、第 11 面 R11、第 12 面 R12、第 13 面 R13 で反射、

第 14 面 R14 で屈折し、第 2 の光学素子 23 を射出する。ここで光束は第 10 面 R10 と第 11 面 R11 の間と第 14 面 R14 付近で中間結像面を有する。

【0257】

次に第 2 の光学素子 23 を射出した光束は第 3 の光学素子 24 に入射する。第 3 の光学素子 24 内では第 15 面 R15 で屈折、第 16 面 R16、第 17 面 R17、第 18 面 R18、第 19 面 R19、第 20 面 R20 で反射、第 21 面 R21 で屈折し、第 3 の光学素子 24 を射出する。ここで、第 18 面 R18 の近傍で中間結像している。

【0258】

最後に第 3 の光学素子 24 を射出した光束は光学補正板 25 を通り、最終結像面である第 23 面 R23 上に結像する。

【0259】

次に、変倍動作に伴う各光学素子の移動について説明する。変倍に際して第 1 の光学素子 22 は固定であり、動かない。第 2 の光学素子 23 を Z マイナス方向に移動させて広角端から望遠端への変倍を行い、変倍に伴う像面変動を第 3 の光学素子 24 を移動させて補正すると共に、フォーカスを行っている。像面である第 23 面 R23 は変倍に際して移動しない。第 1 の光学素子 22 は所謂撮影光学系の前玉に相当し、第 2 の光学素子 23 は所謂バリエーター、第 3 の光学素子 24 はコンペンセーターに相当している。

【0260】

ここで、第 4 面 R4、第 10 面 R10、第 14 面 R14、第 18 面 R18 付近での中間結像位置において、広角端、中間位置、望遠端について条件 (1a)、(3a) をそれぞれ計算すると、

第 4 面 R4 付近の中間結像位置について

・広角端

【0261】

【数 17】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 6.95}{2.46 \times 1.3} = 0.076 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 6.95}{0.73 \times 2.46 \times 1.3} = 0.089 < 0.1$$

・ 中間位置

【0262】

【数18】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 6.95}{2.46 \times 2.6} = 0.038 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 6.95}{1.45 \times 2.46 \times 2.6} = 0.022 < 0.1$$

・ 望遠端

【0263】

【数19】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 6.95}{2.46 \times 3.84} = 0.026 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 6.95}{2.18 \times 2.46 \times 3.84} = 0.01 < 0.1$$

第10面R10 付近の中間結像位置について

・ 広角端

【0264】

【数20】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 8.7}{2.99 \times 1.3} = 0.078 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 8.7}{0.74 \times 2.99 \times 1.3} = 0.091 < 0.1$$

・ 中間位置

【0265】

【数21】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 10.33}{5.96 \times 2.6} = 0.023 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 10.33}{1.08 \times 5.96 \times 2.6} = 0.019 < 0.1$$

・ 望遠端

【0266】

【数22】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 11.45}{7.8 \times 3.84} = 0.013 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 11.45}{1.3 \times 7.8 \times 3.84} = 0.048 < 0.1$$

第14面R14 付近の中間結像位置について

・ 広角端

【0267】

【数23】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 3.81}{1.21 \times 1.3} = 0.085 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 3.81}{1.2 \times 1.21 \times 1.3} = 0.061 < 0.1$$

・ 中間位置

【0268】

【数24】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 5.02}{1.23 \times 2.6} = 0.055 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 5.02}{1.67 \times 1.23 \times 2.6} = 0.028 < 0.1$$

・ 望遠端

【0269】

【数25】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 6.02}{1.33 \times 3.84} = 0.041 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 6.02}{1.92 \times 1.33 \times 3.84} = 0.018 < 0.1$$

第18面R18 付近の中間結像位置について

・ 広角端

【0270】

【数26】



$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 3.65}{23.5 \times 1.3} = 0.004 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 3.65}{1.09 \times 23.5 \times 1.3} = 0.003 < 0.1$$

・ 中間位置

【0271】

【数27】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 7.1}{24.4 \times 2.6} = 0.004 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 7.1}{1.48 \times 24.4 \times 2.6} = 0.002 < 0.1$$

・ 望遠端

【0272】

【数28】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 10.36}{24.55 \times 3.84} = 0.004 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 10.36}{1.73 \times 24.55 \times 3.84} = 0.002 < 0.1$$

となり、それぞれ条件(1a)、(3a)を満たしている。本実施例では、望遠端から広角端にいくにしたがって絞り径が小さくなっている。それゆえ、広角端のほうが条件式を満たしにくい。

【0273】

図18、19、20はそれぞれ、本実施形態の広角端、中間位置、望遠端の横収差図である。

【0274】

本実施形態の効果を説明する。煩雑になるので、泡や異物による光量低下は広

角端での軸上光線についてのみ説明する。

【0275】

最小スポットはあえて図示しないが、第4面R4、第10面R10、第14面R14、第18面R18付近での中間結像位置において、軸上での最小スポットの長さはそれぞれ約450  $\mu\text{m}$ 、約440  $\mu\text{m}$ 、約450  $\mu\text{m}$ 、約8.04mmとなる。

【0276】

粒径35  $\mu\text{m}$  の泡や異物が最小スポット位置に存在した場合、光量低下はそれぞれ約7.8%、約8%、約7.8%、約0.4%で済むことになる。また、問題となる泡や異物の大きさを  $5b/|\beta|$  とした場合、それぞれの中間結像位置での泡や異物の大きさはそれぞれ41.1  $\mu\text{m}$ 、40.5  $\mu\text{m}$ 、25  $\mu\text{m}$ 、27.5  $\mu\text{m}$ となる。よって、泡や異物が最小スポット位置に存在した場合、光量低下はそれぞれ約9.1%、約9.2%、約5.6%、約0.3%で済むことになる。広角端から望遠端にいくにしたがって光量低下はさらに抑えられる。

【0277】

図21は本発明の実施形態9のYZ面内での光学断面図である。本実施形態は水平面角38.2度、垂直面角29度の撮影光学系である。図21には光路も図示している。本実施形態は、透明体の表面に屈折面や反射面が形成された光学素子を使用する代わりに、複数の表面反射鏡より成る反射光学系を用いている。

【0278】

また、本実施形態は中間結像位置で面角に依存しない非点収差を発生させて、

【0279】

【数29】

$$\left| \frac{D \cdot f1}{S \cdot AR1} \right| = \frac{0.035 \times 9.49}{2.76 \times 1.5} = 0.08 < 0.1$$

$$\left| \frac{5b \cdot f1}{|\beta| \cdot S \cdot AR1} \right| = \frac{0.030 \times 9.49}{0.89 \times 2.76 \times 1.5} = 0.077 < 0.1$$

となり条件(1a)、(3a)を満たしている。

【0280】

本実施形態の構成データは次のとおりである。

【0281】

水平半画角 19.1

垂直半画角 14.5

絞り径 1.50

i	Yi	Zi	$\theta_i$	Di	Ndi	$\nu_{di}$
1	0.00	0.00	0.00	6.91	1	絞り
2	0.00	6.91	28.00	10.05	1	反射面
3	-8.33	1.29	33.47	23.67	1	反射面
4	-3.84	24.53	33.00	8.85	1	反射面
5	-11.10	19.46	27.54	12.59	1	反射面
6	-11.10	32.05	0.00		1	像面

非球面形状

R 2 面  $a = -1.46039e+03$   $b = -8.02682e+00$   $t = -4.20029e+01$

$C03 = 3.67405e-04$   $C21 = -2.46091e-03$

$C04 = 7.60473e-06$   $C22 = -5.65605e-04$   $C40 = -1.12101e-04$

R 3 面  $a = 1.26931e+01$   $b = 4.20864e+01$   $t = 3.49006e+01$

$C03 = 3.62552e-04$   $C21 = 4.25104e-03$

$C04 = -1.54719e-04$   $C22 = -4.16202e-04$   $C40 = -1.06713e-04$

R 4 面  $a = -2.61453e+02$   $b = -1.81578e+01$   $t = 2.33060e+01$

$C03 = 2.43935e-04$   $C21 = 6.87008e-05$

$C04 = 1.49521e-05$   $C22 = -9.34036e-07$   $C40 = 1.30674e-05$

R 5 面  $a = -2.21549e+01$   $b = 1.01587e+01$   $t = -2.84332e+00$

$C03 = 5.07372e-04$   $C21 = 8.89793e-04$

$C04 = -2.95123e-06$   $C22 = -6.31390e-05$   $C40 = 2.86129e-05$

本実施形態は、物体からの光線の通過順に、入射瞳である絞り面R1と、凹面鏡R2・凹面鏡R3・凹面鏡R4・凹面鏡R5の四つの表面反射面で構成されている。R6は最終結像面であり、CCD等の撮像素子の撮像面が位置する。なお、すべての反射面はYZ平面のみに対して対称な面である。

## 【0282】

次に本実施形態の結像作用を説明する。物体からの光束1は、絞り（入射瞳）R1により入射光量を規制された後、反射面R2で反射され、反射面R3近傍で一旦結像し、次いで面R3,R4,R5で次々に反射した後、最終結像面R6上に再結像する。また、本実施形態の光学系の横収差図を図22に示す。

## 【0283】

本実施形態の効果を説明する。本実施形態で光学性能上問題となるのは中間結像位置付近にある表面反射面上の疵の幅や付着物等である。

## 【0284】

図29は中間結像面付近にある表面反射面、つまり、第3面R3での軸上と軸外の光スポットを示している。この場合、大きさ $35\mu\text{m}$ の付着物等が第3面R3に存在すると、軸上では第3面R3上の光スポットの面積が約 $72000\mu\text{m}^2$ となり約1.3%の光量低下、軸外では第3面R3上の光スポットの面積が約 $118800\mu\text{m}^2$ となり約0.8%の光量低下で済むことになる。

## 【0285】

なお、問題となる泡や異物の大きさを $5b/|\beta|$ とした場合、 $5b/|\beta|=5\times 6/0.89=33.7\mu\text{m}$ であり、面積は約 $892\mu\text{m}^2$ となるので、光量低下は軸上では約1.2%、軸外では約0.75%となる。この様に、中間結像面付近にある表面反射面上の疵の幅や付着物等の画像への影響を抑えることが出来る。

## 【0286】

又、本発明においては実施形態4～7を構成している透明体の表面に2つの屈折面と複数の反射面を形成した光学素子と、実施形態9を構成しているような表面反射鏡より成る複数の反射面で構成された光学素子とを複数用いて、そのうちの少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることによりズームを行う反射型のズーム光学系も構成することが出来る。その場合も、光学素子内に存在する泡や異物、又は、中間結像面付近の表面反射面上の疵や付着物等の画像への影響を低減することができる。

## 【0287】

更に、実施形態4～8を構成している光学素子と屈折面のみで構成された共軸

屈折光学素子とを複数用いて、そのうちの少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることによりズームを行う反射型のズーム光学系も構成することが出来る。その場合も、光学素子内に存在する泡や異物、又は、中間結像面付近の表面反射面上の疵や付着物等の画像への影響を低減することができる。

## 【0288】

## 【発明の効果】

(7-1) 本発明によれば以上のように、物体像を最終像面に至るまでの光路中に少なくとも1回、中間結像させる光学装置において、物体側結像要素のレンズ系および中間像を最終像面に再結像させる像側結像要素のレンズ系を適切に設定することによって、該中間像位置及びその近傍にノイズ発生源が存在する場合であっても最終像面上で前記ノイズ発生源による光強度分布の擾乱を平坦化することにより、最終像面上の画像上のノイズによる擾乱を目立ちにくくし、最終像面において良好なる画像が得られるようにした光学素子及びそれを用いた光学装置を達成することができる。

## 【0289】

(7-2) 特に、本発明では、物体像を最終像面に至る前の光路中の中間結像面に少なくとも1回結像させる物体側結像要素および中間像を最終像面に再結像させる像側結像要素を含み物体像を最終像面に結像させる光学素子を備える光学装置において、該中間結像面位置にノイズ発生源が存在する場合には最終像面上で前記ノイズ発生源による光強度分布の擾乱を光学的に平坦化することにより、最終像面上の画像上のノイズによる擾乱を目立ちにくくできるという効果がある。

## 【0290】

(7-3) 特に、ノイズ発生源による光強度分布の擾乱を平坦化する手段を、中間結像位置での結像性能を劣化させて、ノイズ発生源からの像面上で光強度分布の擾乱を平坦化するという光学的手段にすることにより、特に、部材を増やすことなく容易に最終像面上の画像上のノイズによる擾乱を目立ちにくくできるという効果がある。

## 【0291】

(7-4) さらに、その光学系を物体側結像要素、像側結像要素の少なくともいず

れかはオフアキシャル曲面を含むオフアキシャル光学系にすることで、オフアキシャル光学系の持つ光学配置上での自由度が増す（得にオフアキシャル反射面はコンパクト配置がしやすい）という効果の他に、従来の共軸回転対称光学系では出せなかったような、軸上非点収差や「ねじれの収差」を簡単に出すことができるので、より容易に最終像面上の画像上のノイズによる擾乱を目立ちにくくできるという効果を持たせることができる。

## 【0292】

(7-5) また、一般的に言って光学素子のノイズ源による不良率を、中間結像面でのスポット径を大きくさせることによって急激に小さくすることができるという効果もある。

## 【0293】

(7-6) 又、本発明は以上のように、物体からの光束を透明体の表面に形成した入射面で入射させて、該透明体の一部に設けた曲面より成る内面反射の反射面の少なくとも一つで反射させて、透明体内で中間結像させた後に、透明体の射出面から射出させて像を形成する光学素子、又は、物体からの光束を表面反射鏡より成る複数の反射面で反射を繰り返し、中間結像させた後に射出するように構成された光学素子において、少なくともいずれかに、オフアキシャル反射面を含み、軸上から軸外まで画角に依存しない収差を発生させ、該中間結像位置での結像性能を最終結像面の結像性能に対して意図的に劣化させることにより、光学素子内に存在する泡や異物、又は、中間結像面付近の表面反射面上の疵や付着物等の画像への影響を低減することができるという効果を有する光学素子及びそれを用いた撮像装置を達成することができる。

## 【0294】

(7-7) 特に画角に依存しない非点収差を発生させることにより、比較的容易に中間結像面付近での光スポットの大きさを問題となる泡や異物、付着物等の粒径と比べて極端に大きくすることができ、内部に存在する泡や異物、又は、表面反射面上の疵や付着物等による光量低下を少なくする効果を有する光学素子及びそれを用いた撮像装置を達成することができる。

## 【0295】

(7-8) さらに、瞳の近くにある入射面を回転非対称な面形状にすることにより、画角に対してほぼ均一に非点収差を発生させることができ、光学素子内に存在する泡や異物の画像への影響を画角に対してほぼ均一に低減するという効果を有する光学素子及びそれを用いた撮像装置を達成することができる。

【0296】

(7-9) さらに、射出面も回転非対称な面形状にすることにより、入射面で発生したディストーションなどの非対称な収差の発生を低減する効果を有する光学素子及びそれを用いた撮像装置を達成することができる。

【0297】

本発明には更に、特開平8-292371号公報、特開平8-292372号公報に示されている以下の効果と同じ効果を持つ。

【0298】

(7-10) 物体側から数えて第1の曲面の反射面に収斂作用を与えていることで光学系の小型化に寄与している。これは瞳光線（主光線）を入射面に近い段階で中間結像させて光学系をさらに薄型にするためで、絞りを出た軸外主光線が大きく拡がらない内に収斂させ、光学系の広角化による第1反射面以降の各面有効径の大型化を抑えている。

【0299】

(7-11) 絞りを撮影光学系の物体側（光学系の光束入射側）に配置することにより、光学系を広角化した時に生じる撮影光学系の大型化を抑えている。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態1の要部概略図

【図2】 本発明の実施形態2の要部概略図

【図3】 本発明に係る「ねじれの収差」を説明するための概念図

【図4】 本発明の実施形態3の要部概略図

【図5】 ノイズ源の径とノイズ源の数（密度）の関係を示す模式図

【図6】 従来の中間結像をする結像系の概念図

【図7】 従来の中間結像位置に存在するノイズ発生源を説明するための概

念図

- 【図 8】 本発明に係る横収差の概念図
- 【図 9】 本発明の実施形態 4 の YZ 面内での光学断面図
- 【図 10】 実施形態 4 の横収差図
- 【図 11】 本発明の実施形態 5 の YZ 面内での光学断面図
- 【図 12】 実施形態 5 の横収差図
- 【図 13】 本発明の実施形態 6 の YZ 面内での光学断面図
- 【図 14】 実施形態 6 の横収差図
- 【図 15】 本発明の実施形態 7 の YZ 面内での光学断面図
- 【図 16】 実施形態 7 の横収差図
- 【図 17】 本発明の実施形態 8 の YZ 面内での光学断面図
- 【図 18】 実施形態 8 の横収差図（広角端）
- 【図 19】 実施形態 8 の横収差図（中間位置）
- 【図 20】 実施形態 8 の横収差図（望遠端）
- 【図 21】 本発明の実施形態 9 の YZ 面内での光学断面図
- 【図 22】 実施形態 9 の横収差図
- 【図 23】 本発明の実施例における座標系の説明図
- 【図 24】 従来例の中間結像位置の最小スポットの図
- 【図 25】 実施形態 4 の中間結像位置の最小スポットの図
- 【図 26】 従来例の小絞り時の中間結像位置の最小スポットの図
- 【図 27】 実施形態 5 の小絞り時の中間結像位置の最小スポットの図
- 【図 28】 実施形態 9 の中間結像面付近にある表面反射面上の光スポットの図

【符号の説明】

- 1 物体面
- 2 中間結像面
- 3 最終像面
- 4 絞り面、入射瞳面
- 5 光学要素
- L a, 8 基準軸



10 物体側結像要素

11 像側結像要素

12 フィールドレンズ等の中間結像面が存在する光学媒質

10-1~10-3, 11-1~11-3 面

Ri 面

Di 基準軸に沿った面間隔

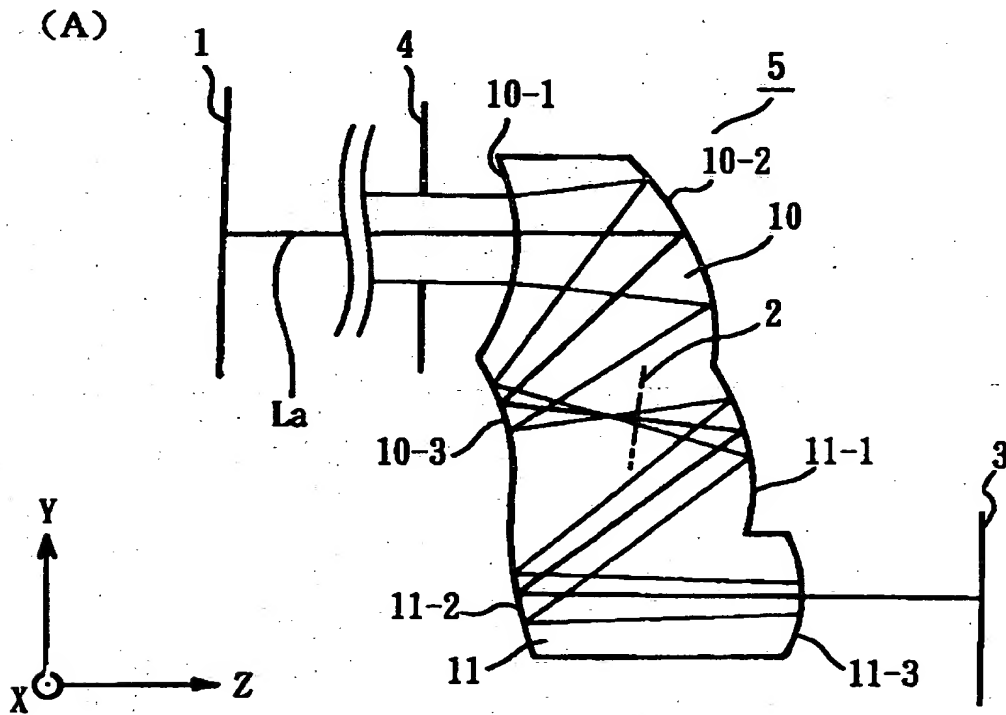
Ndi 屈折率

vdi アッベ数

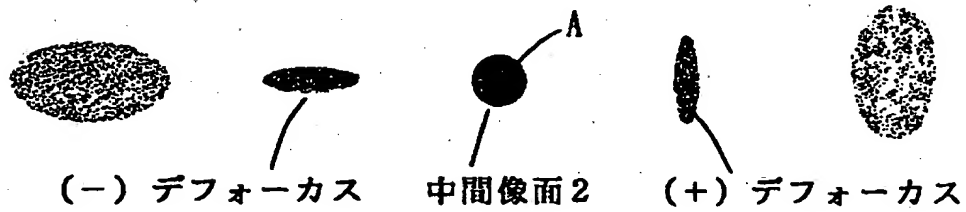
【書類名】

図面

【図 1】

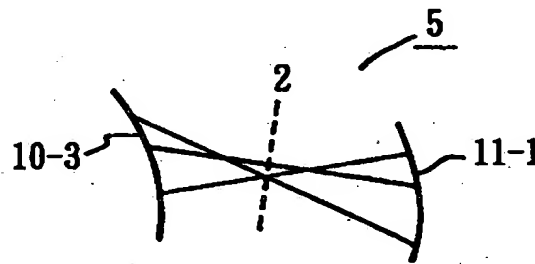


(B)



【図 2】

(A)

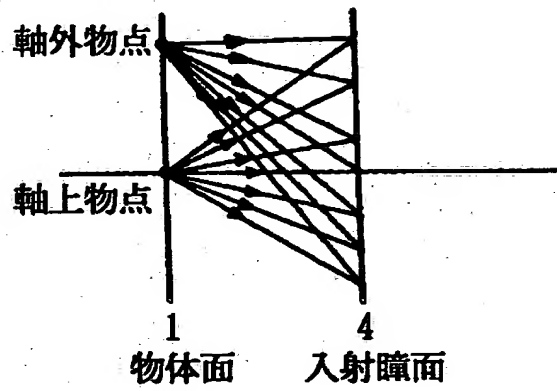


(B)

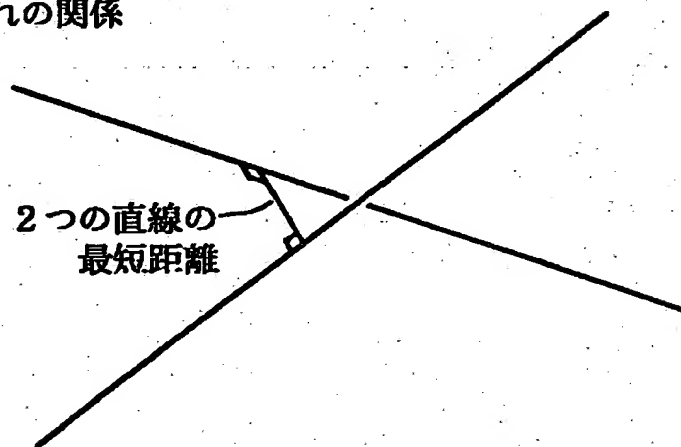


【図 3】

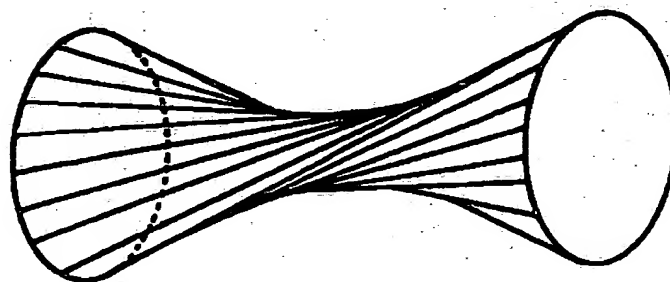
(A) 子午断面内光線群



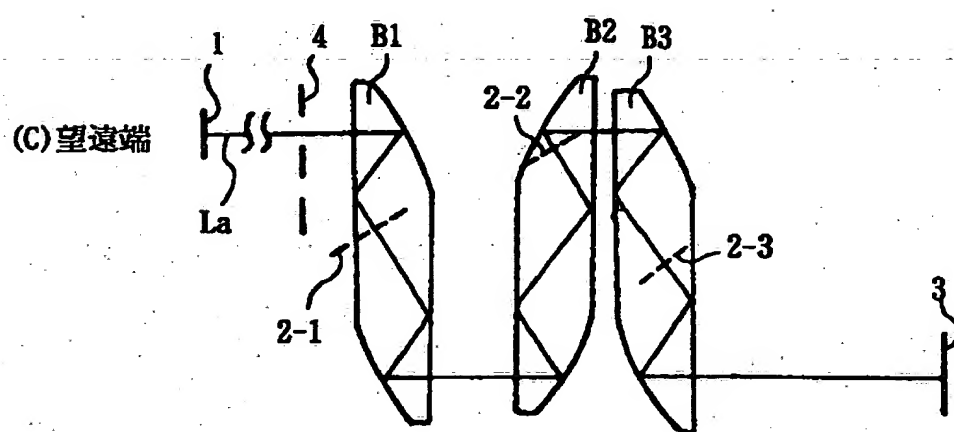
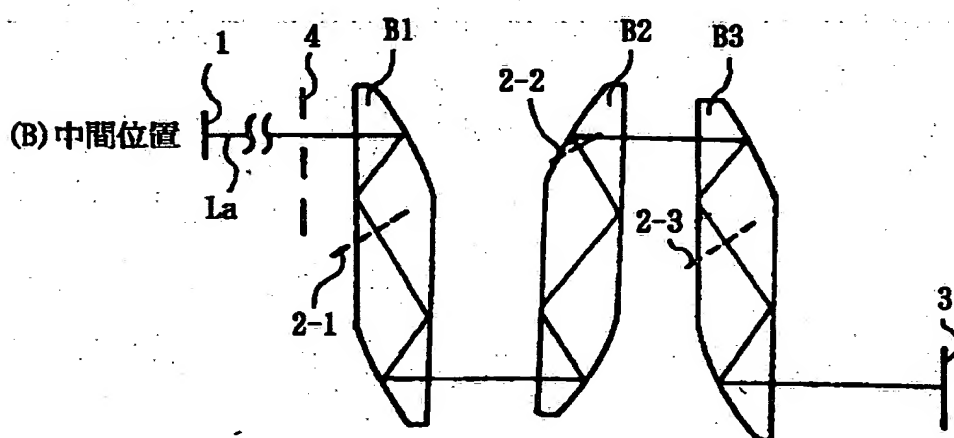
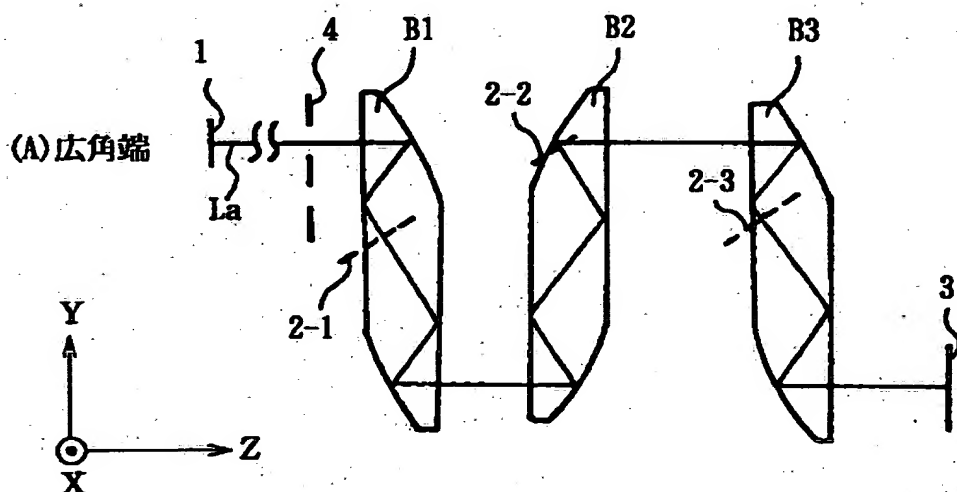
(B) わじれの関係



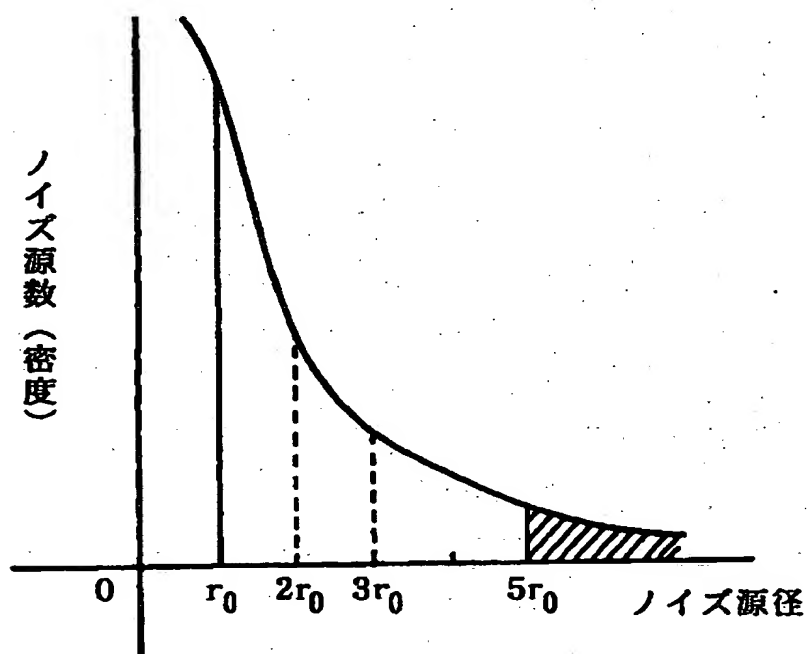
(C)



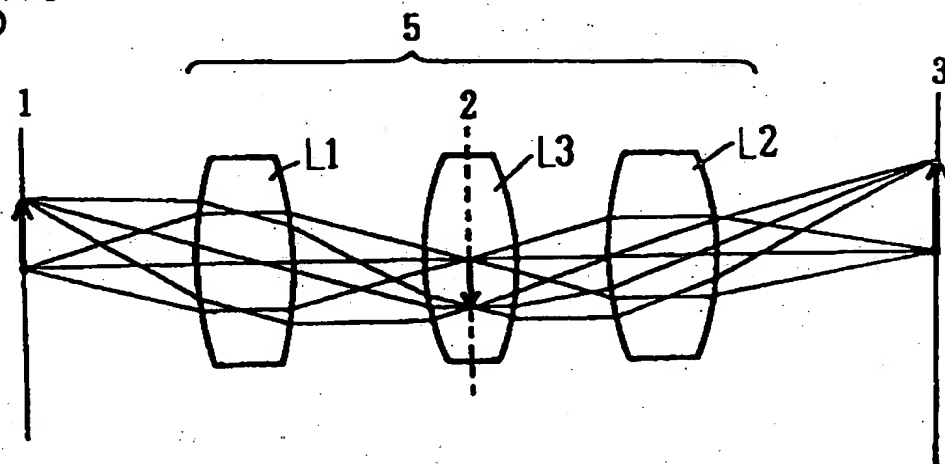
【図 4】



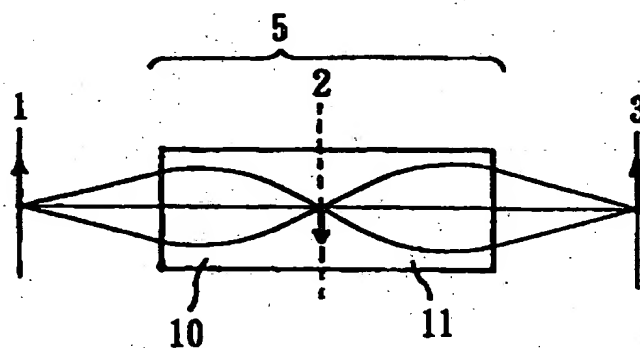
【図 5】



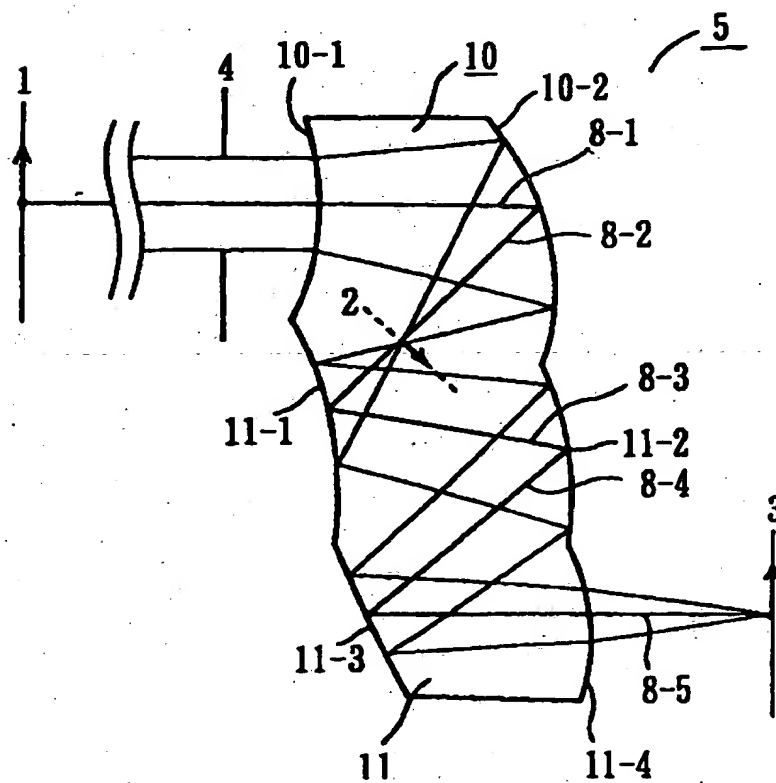
【図6】  
(A)



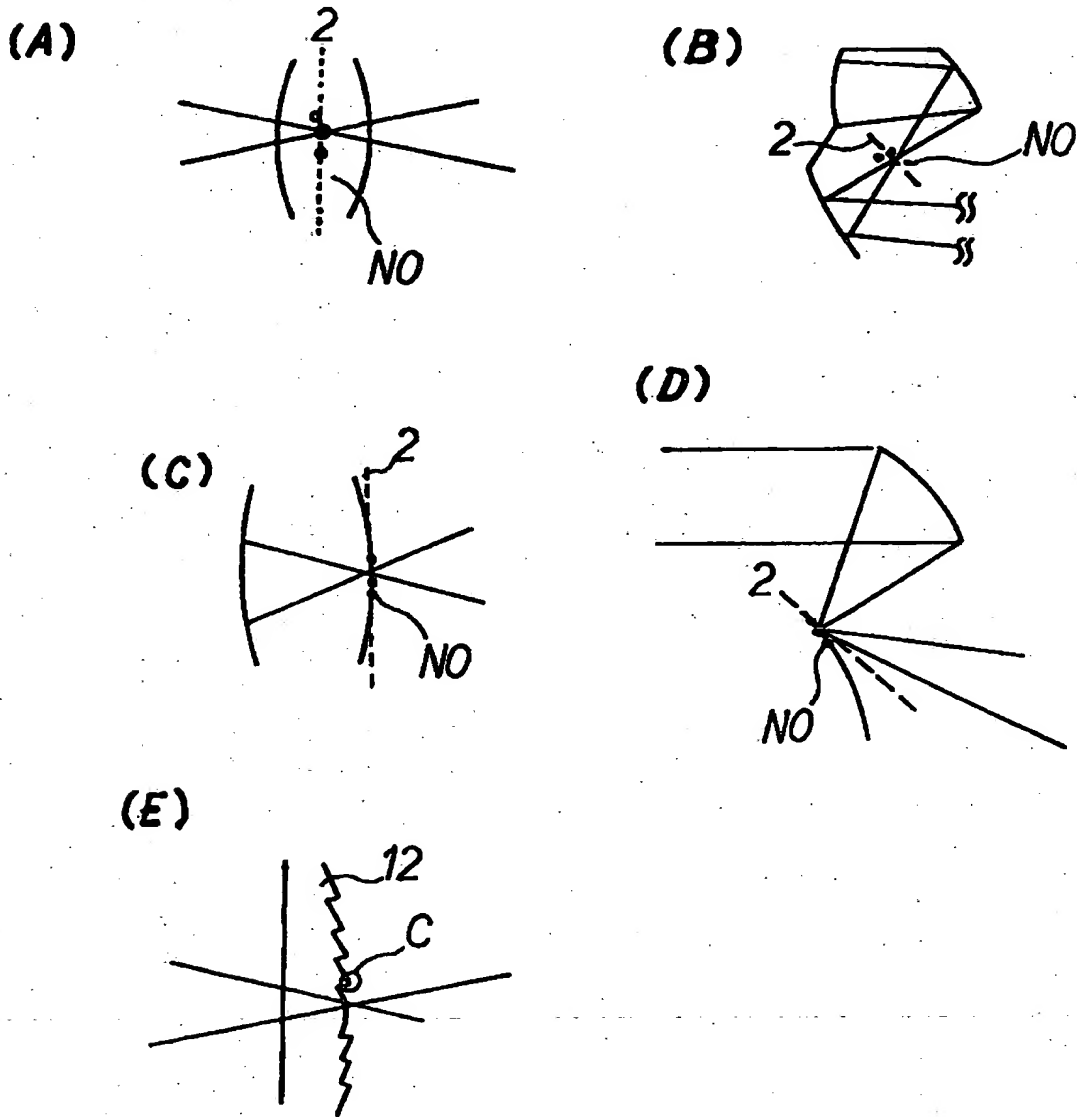
(B)



(C)

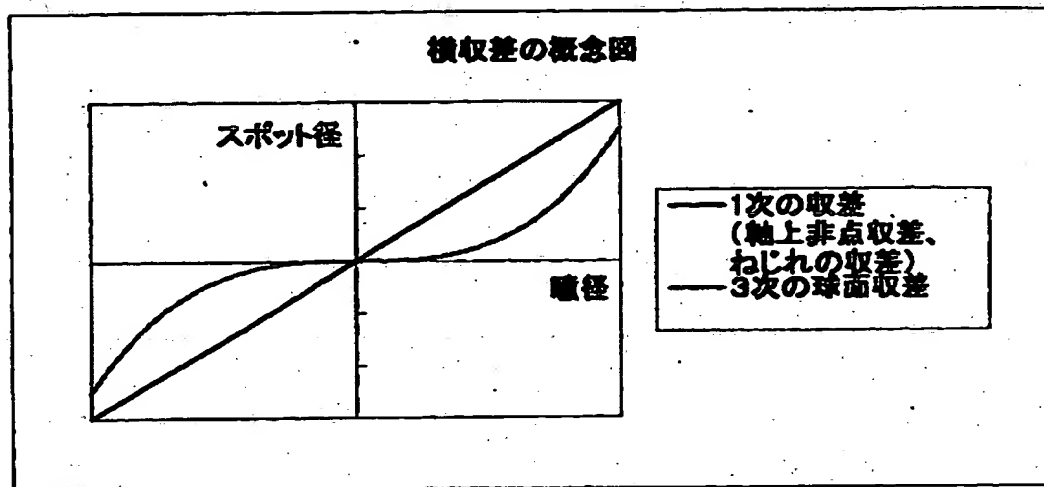


【图 7】

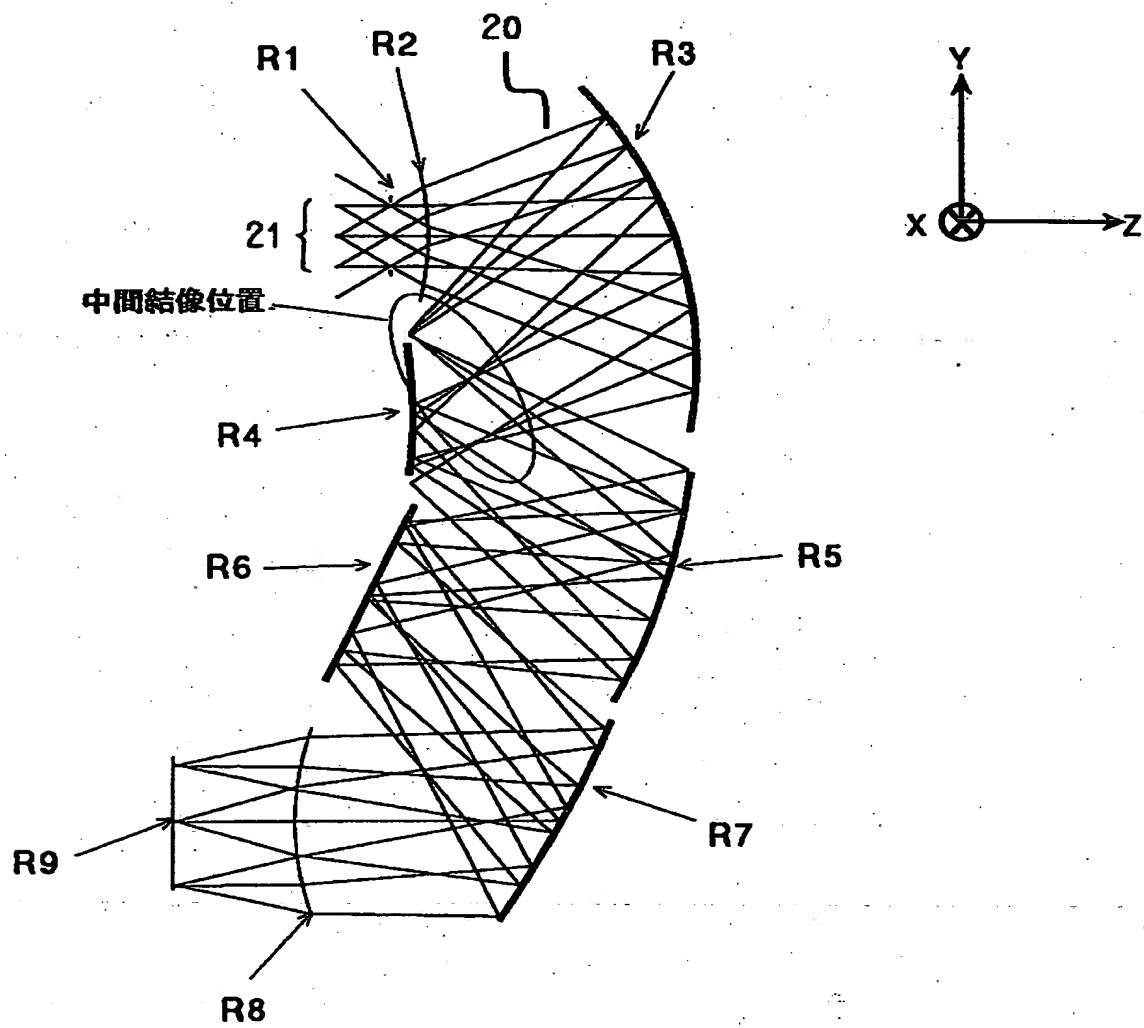




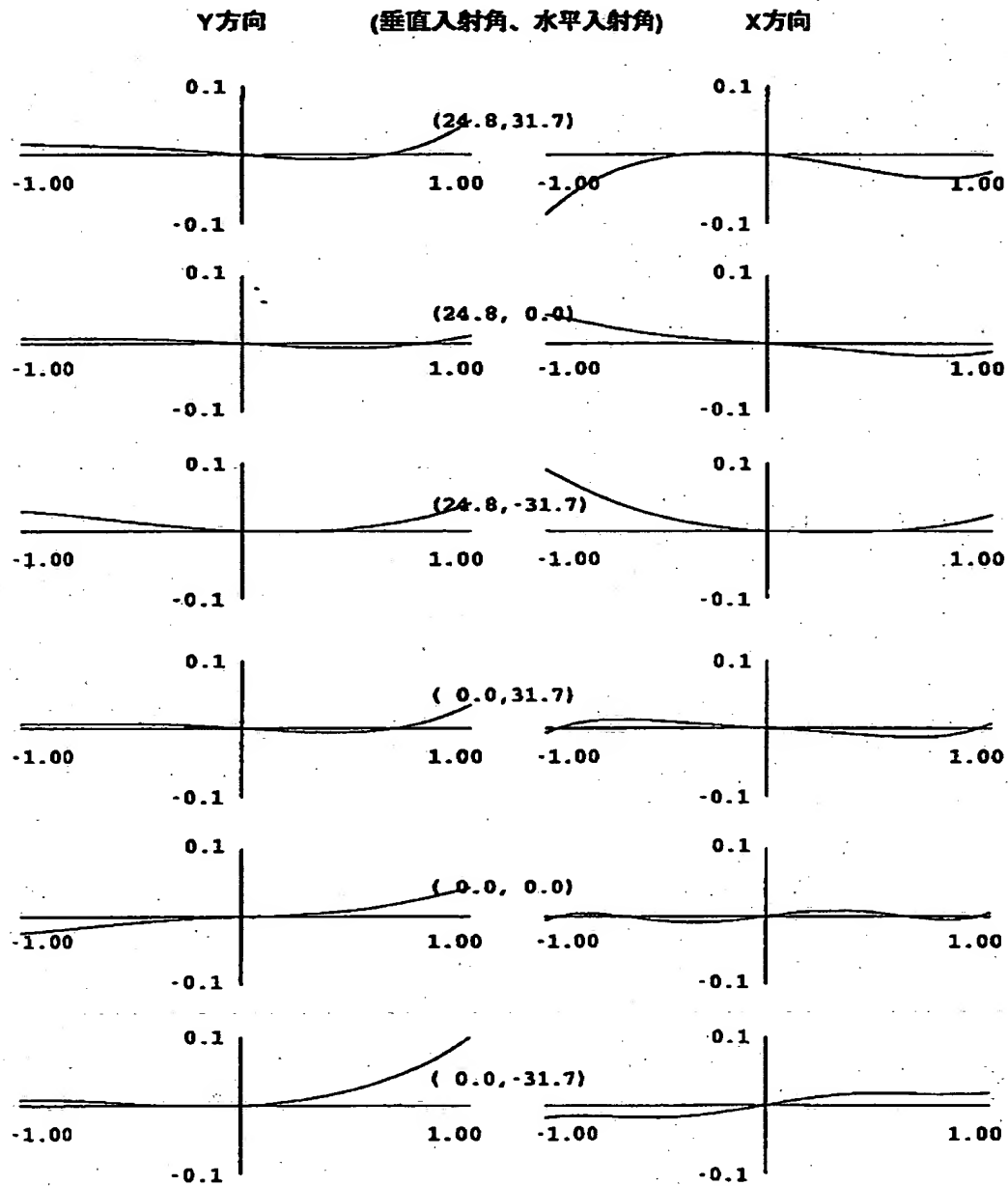
【図8】



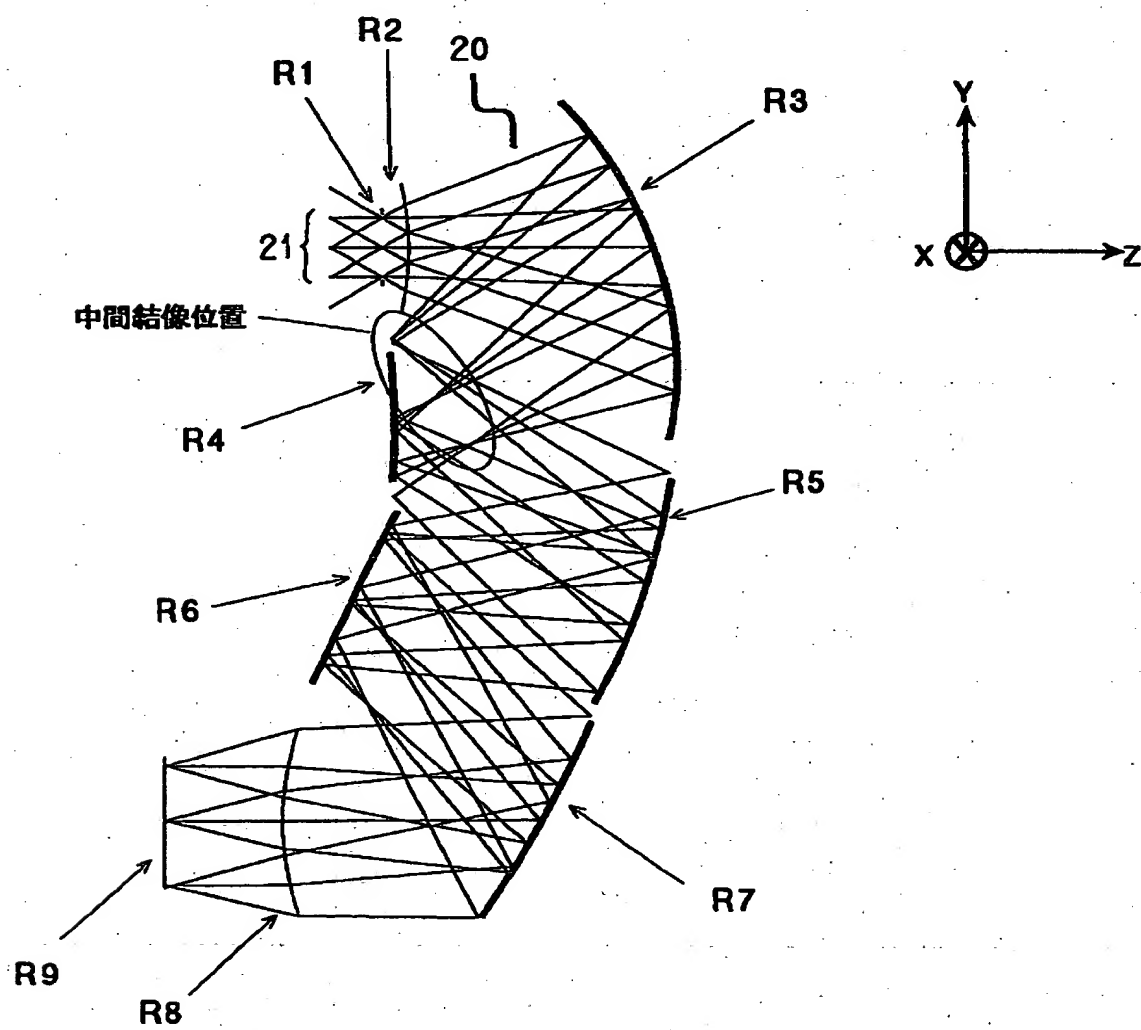
【図 9】



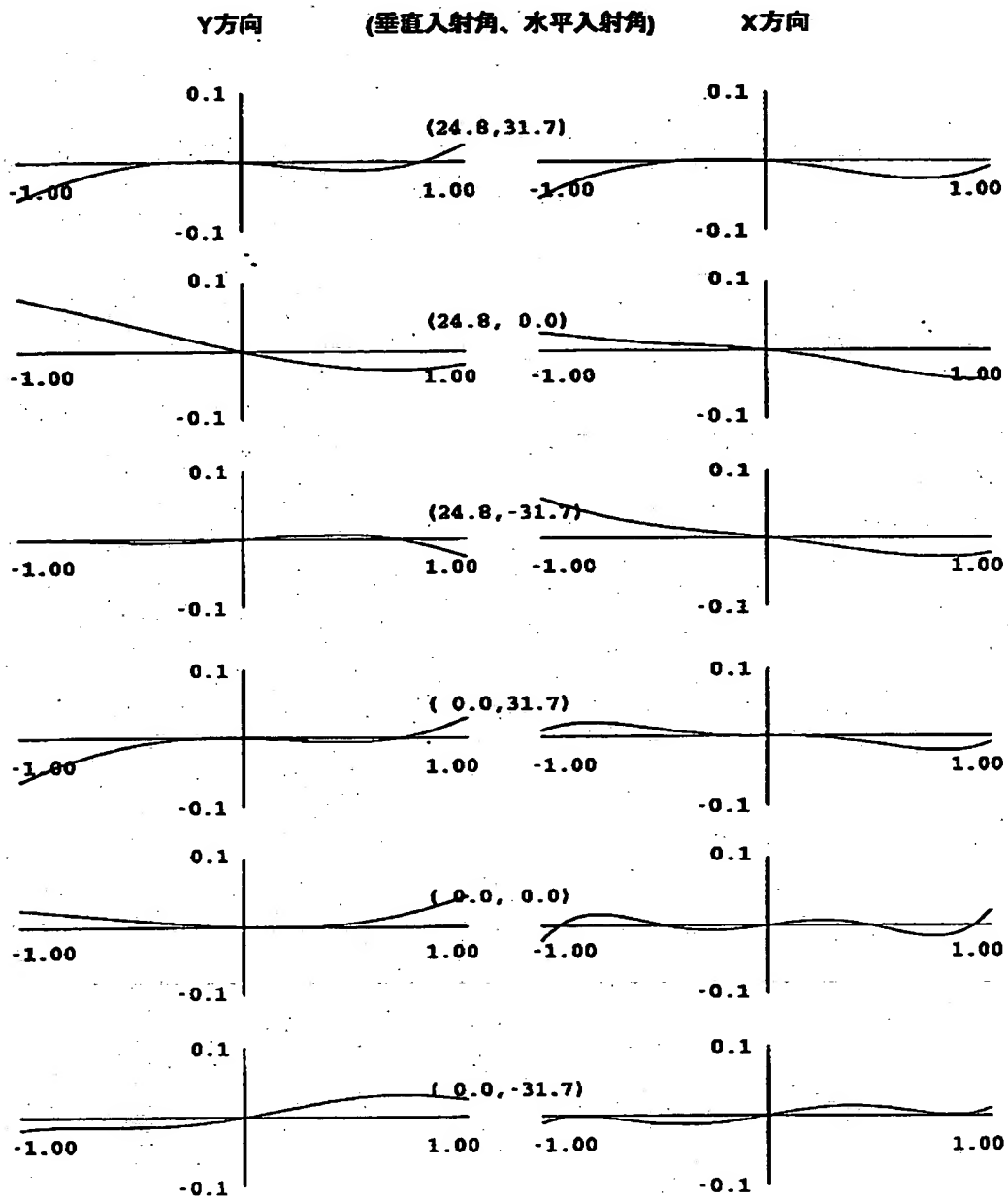
【図10】



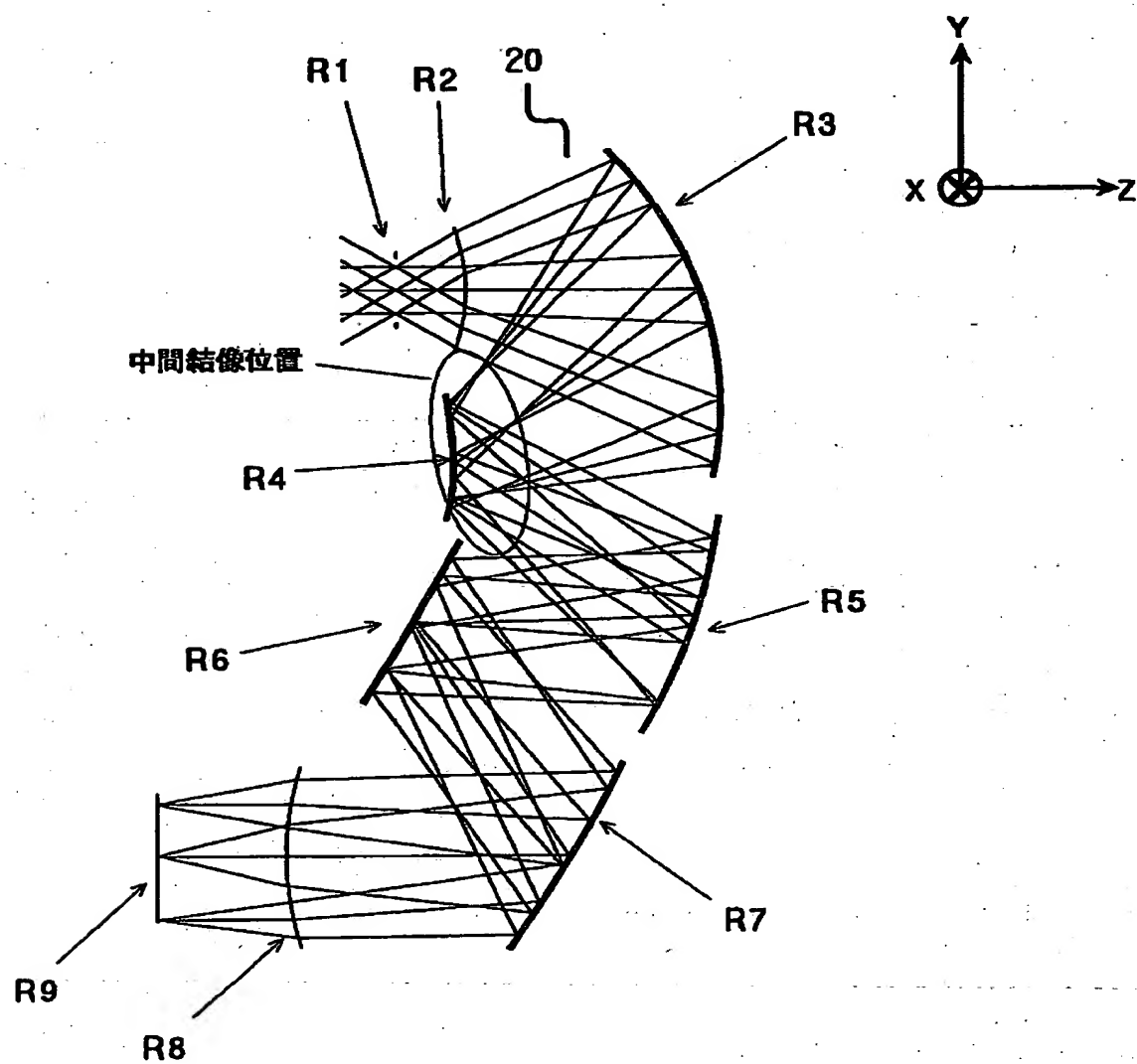
【図 11】



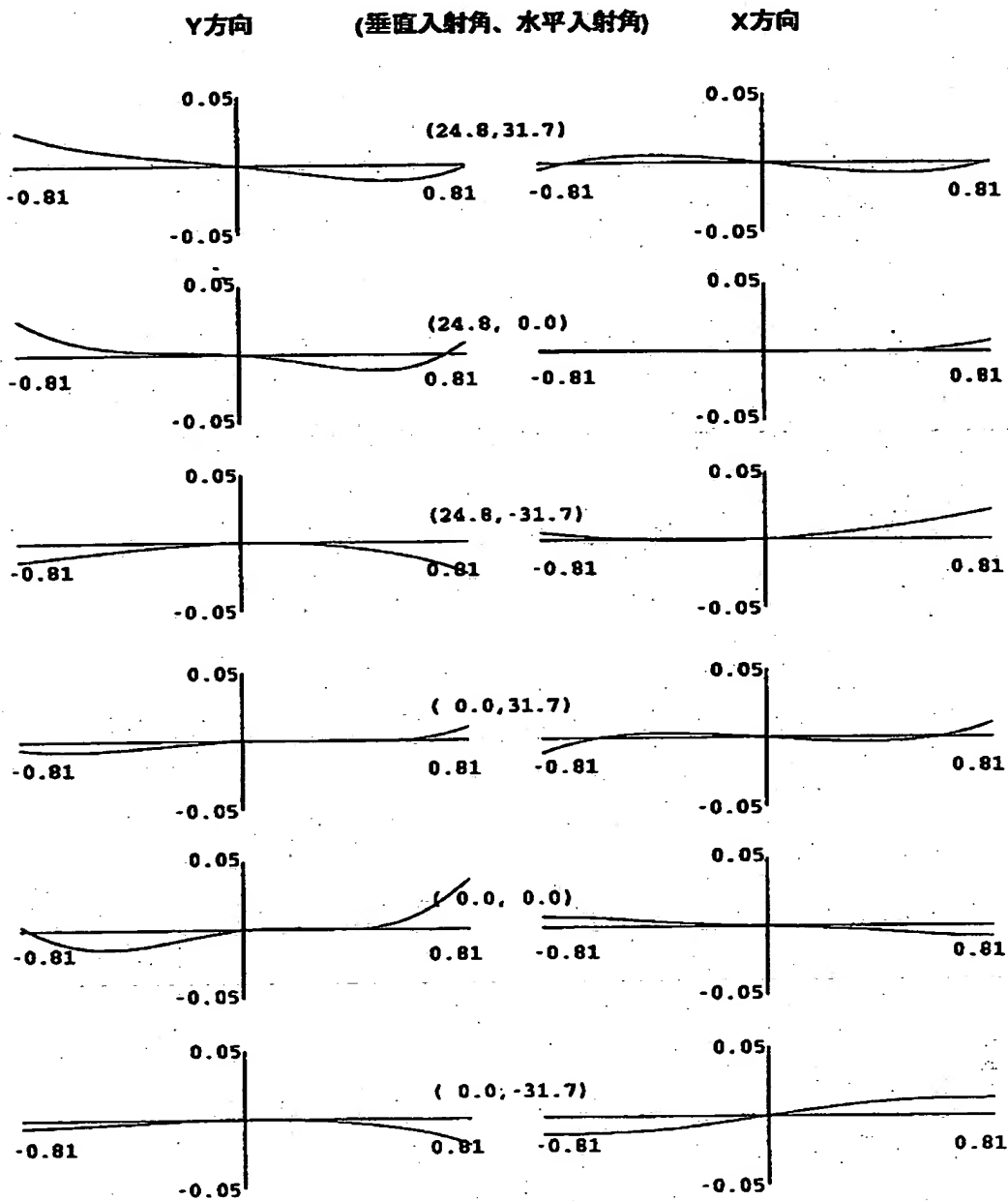
【図12】



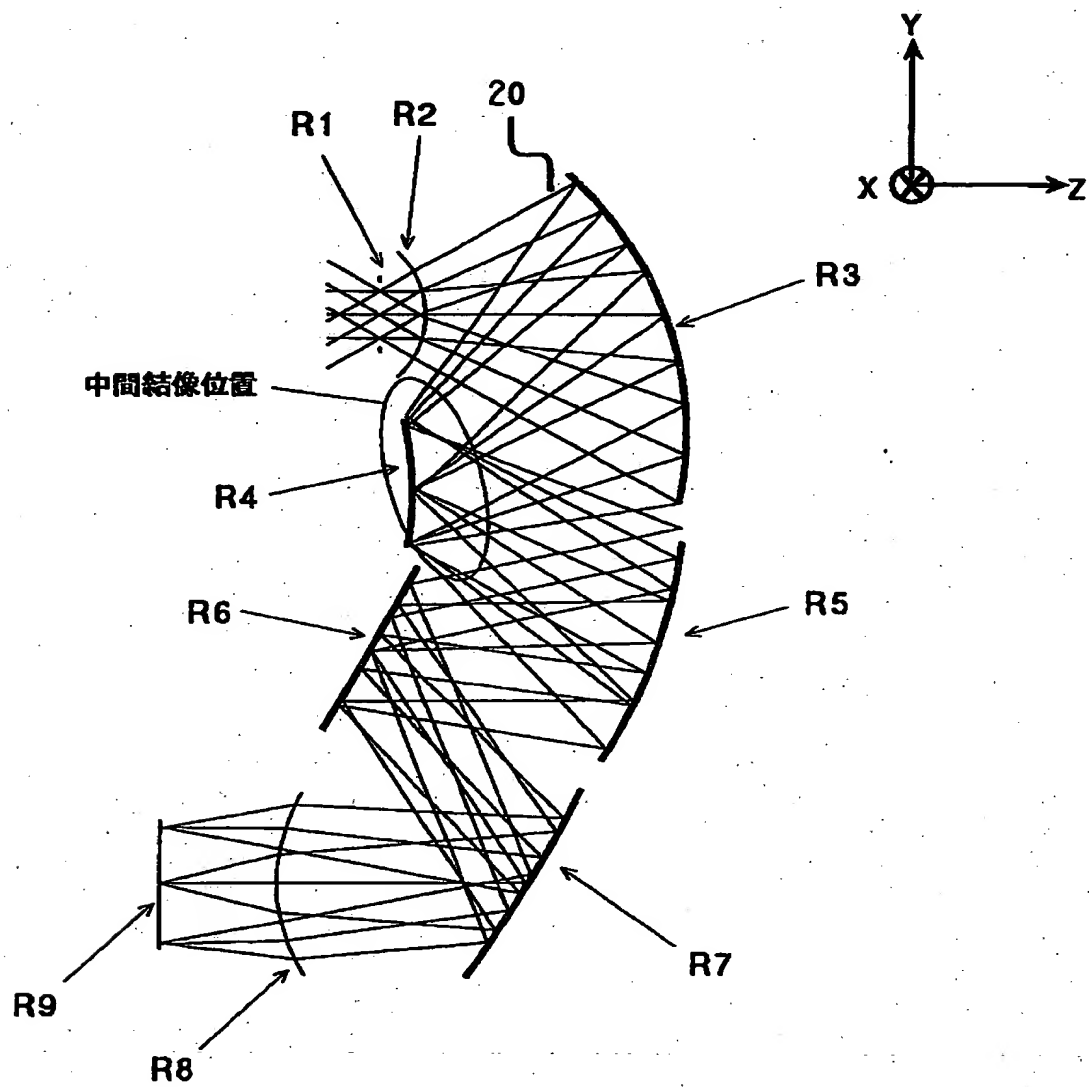
【図 13】



【图14】

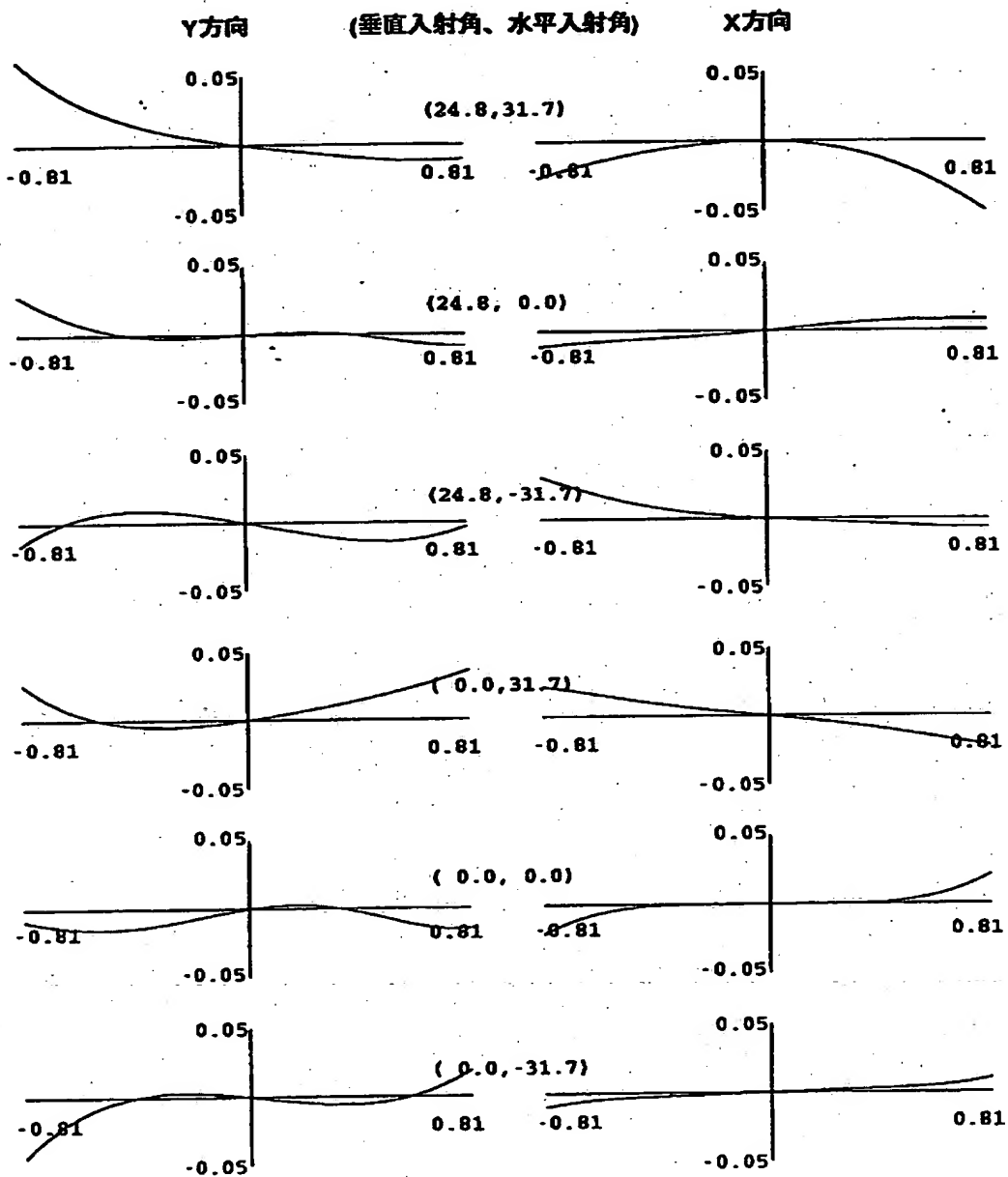


【図 15】



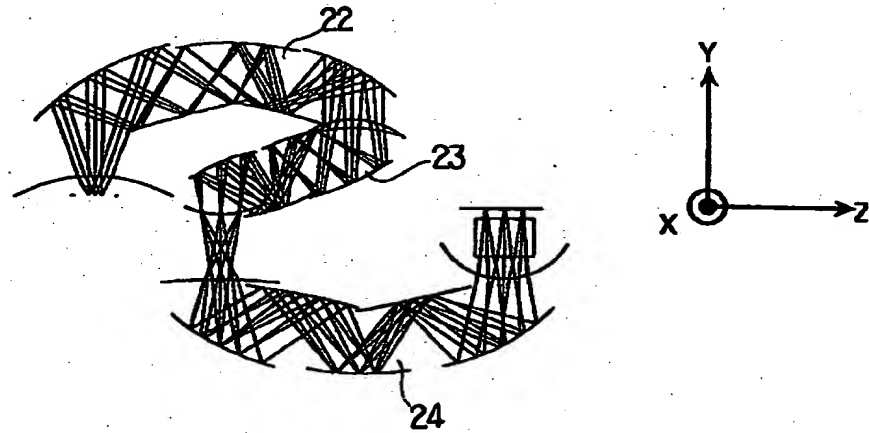


【图 16】

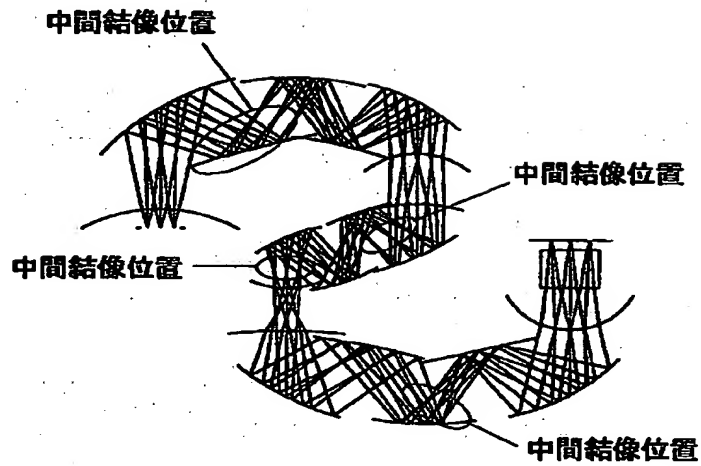


【図17】

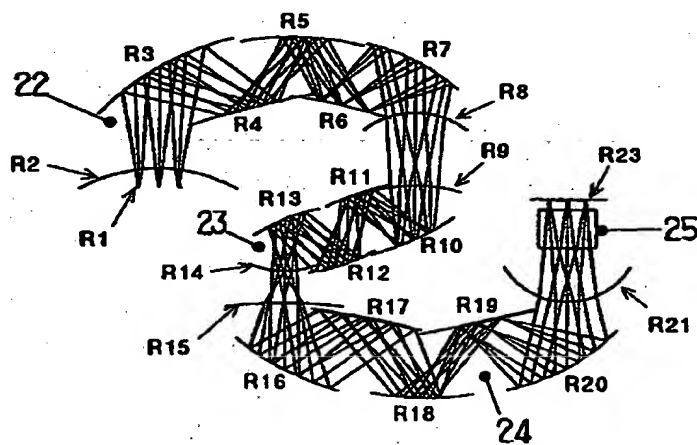
(A)  
広角端



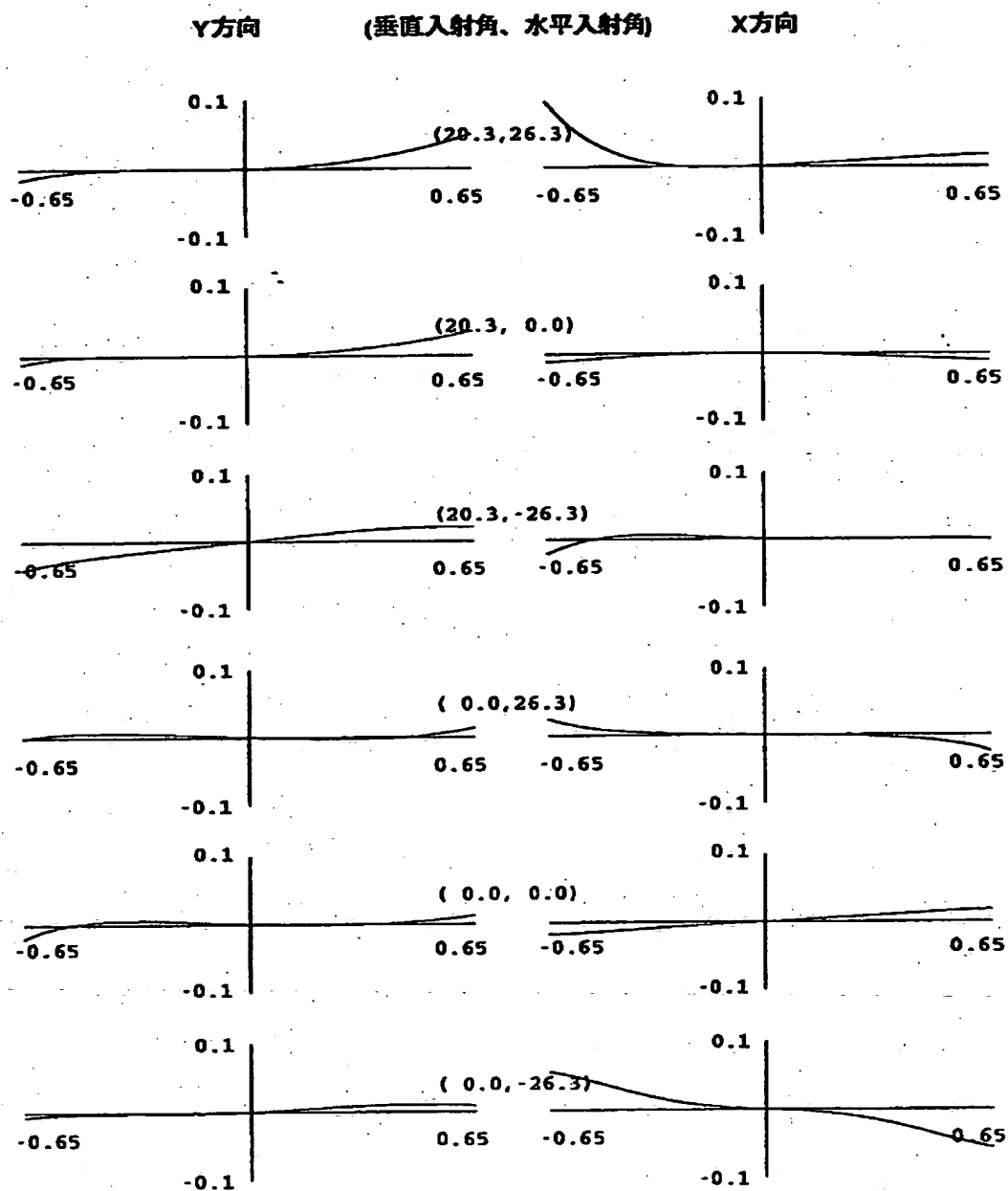
(B)  
中間位置



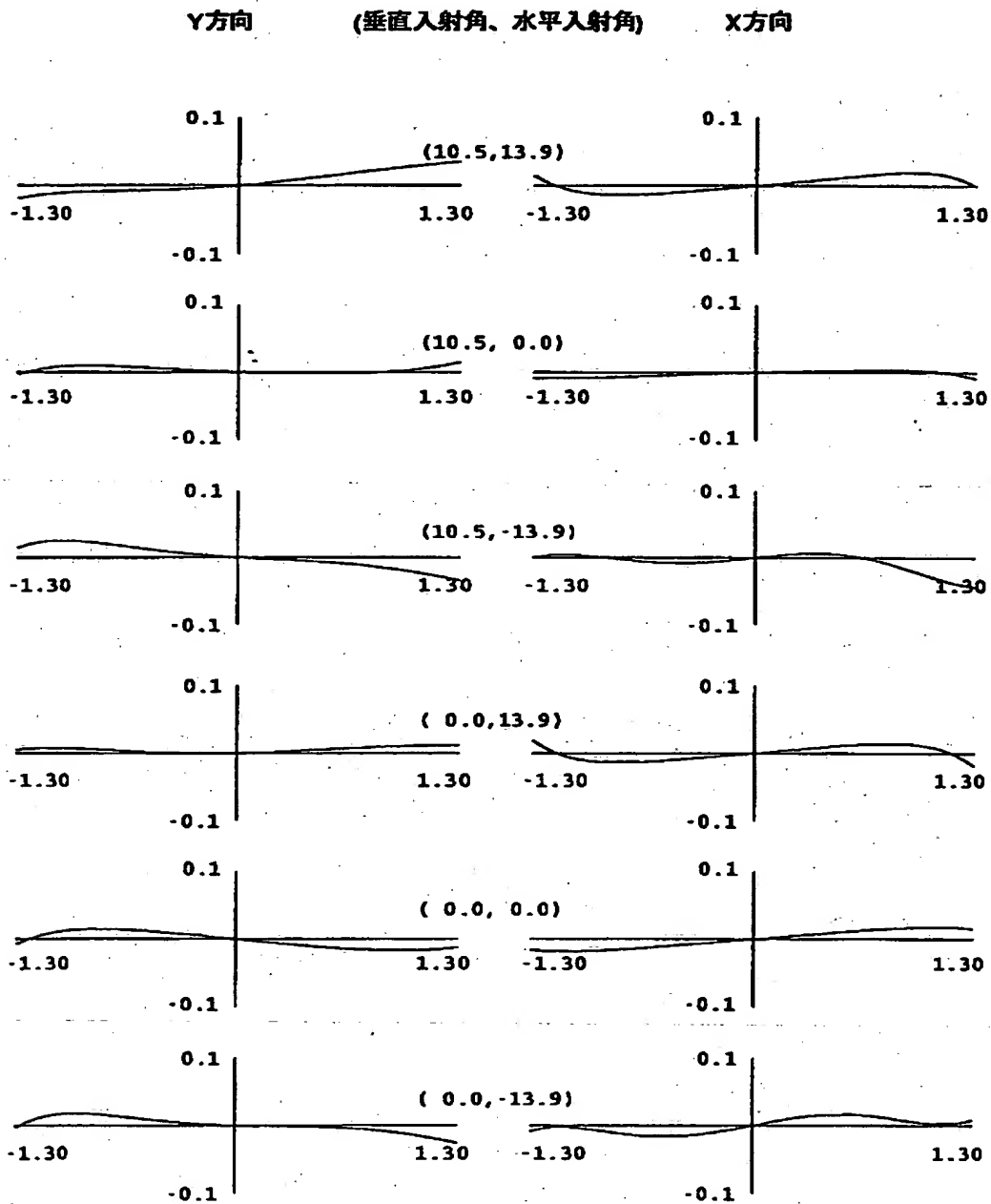
(C)  
望遠端



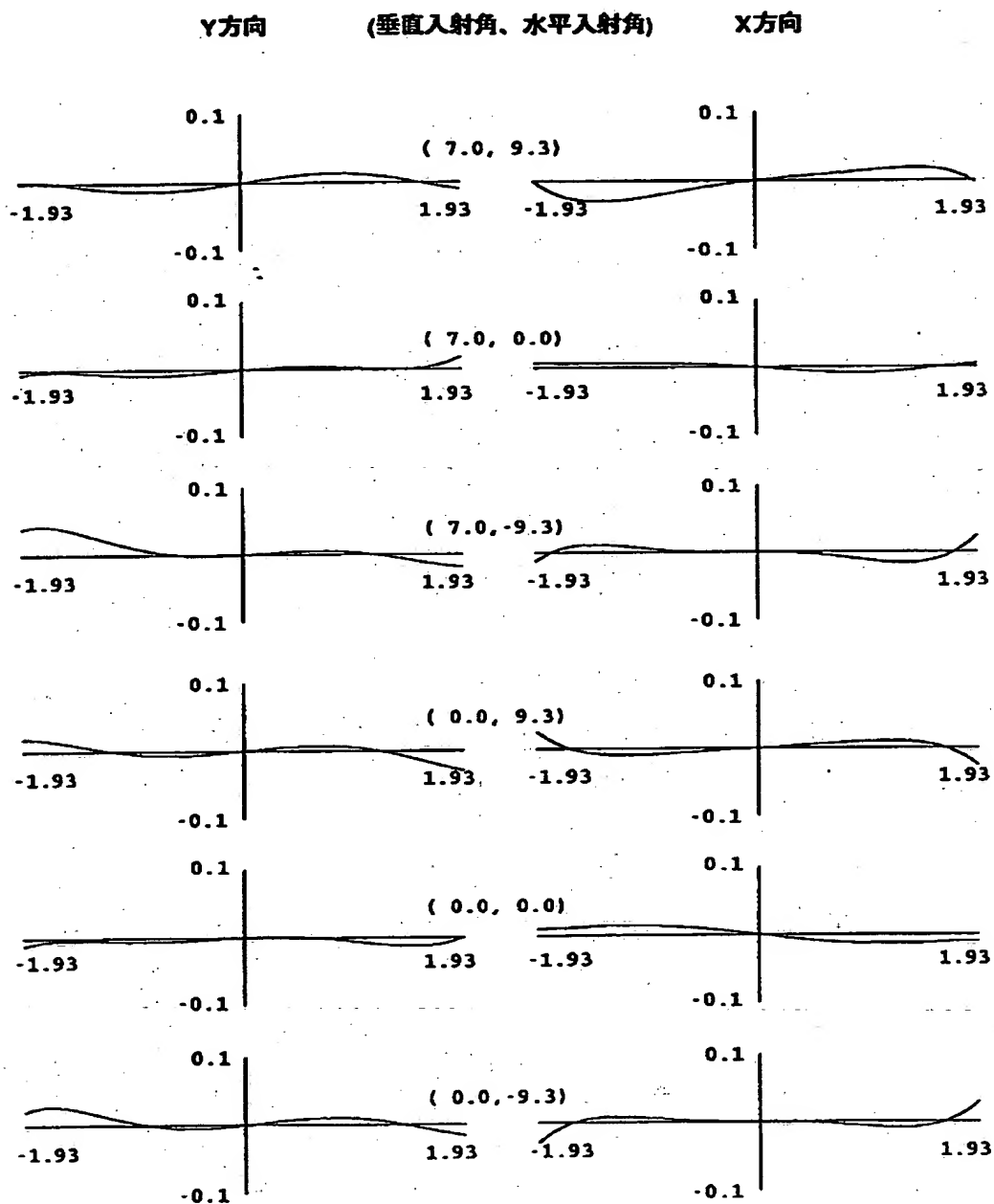
【图 18】



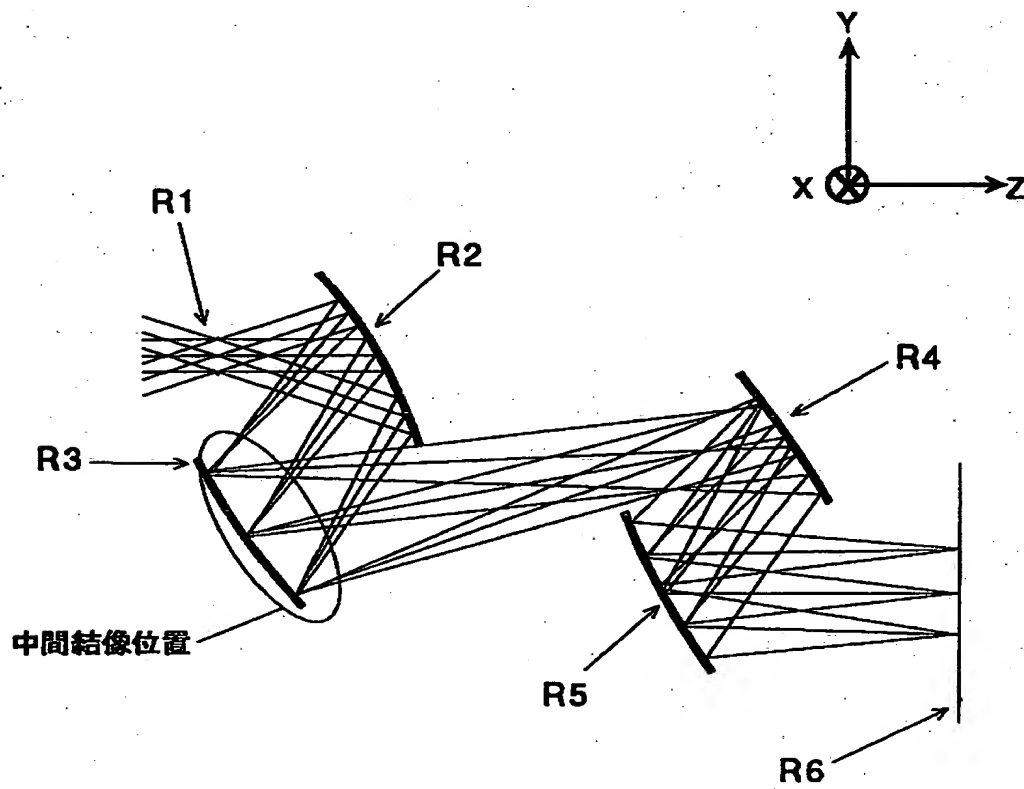
【图19】



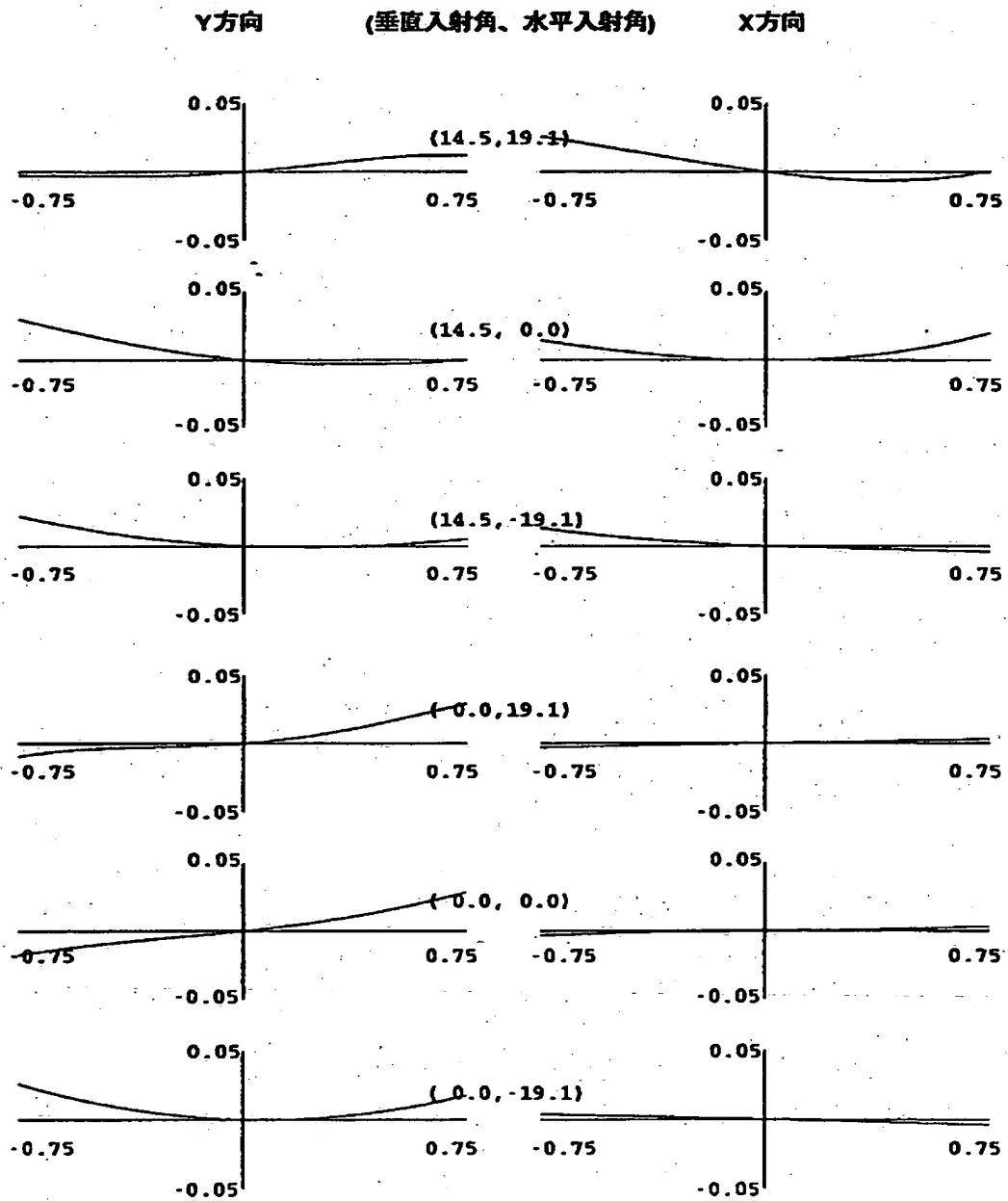
【図20】



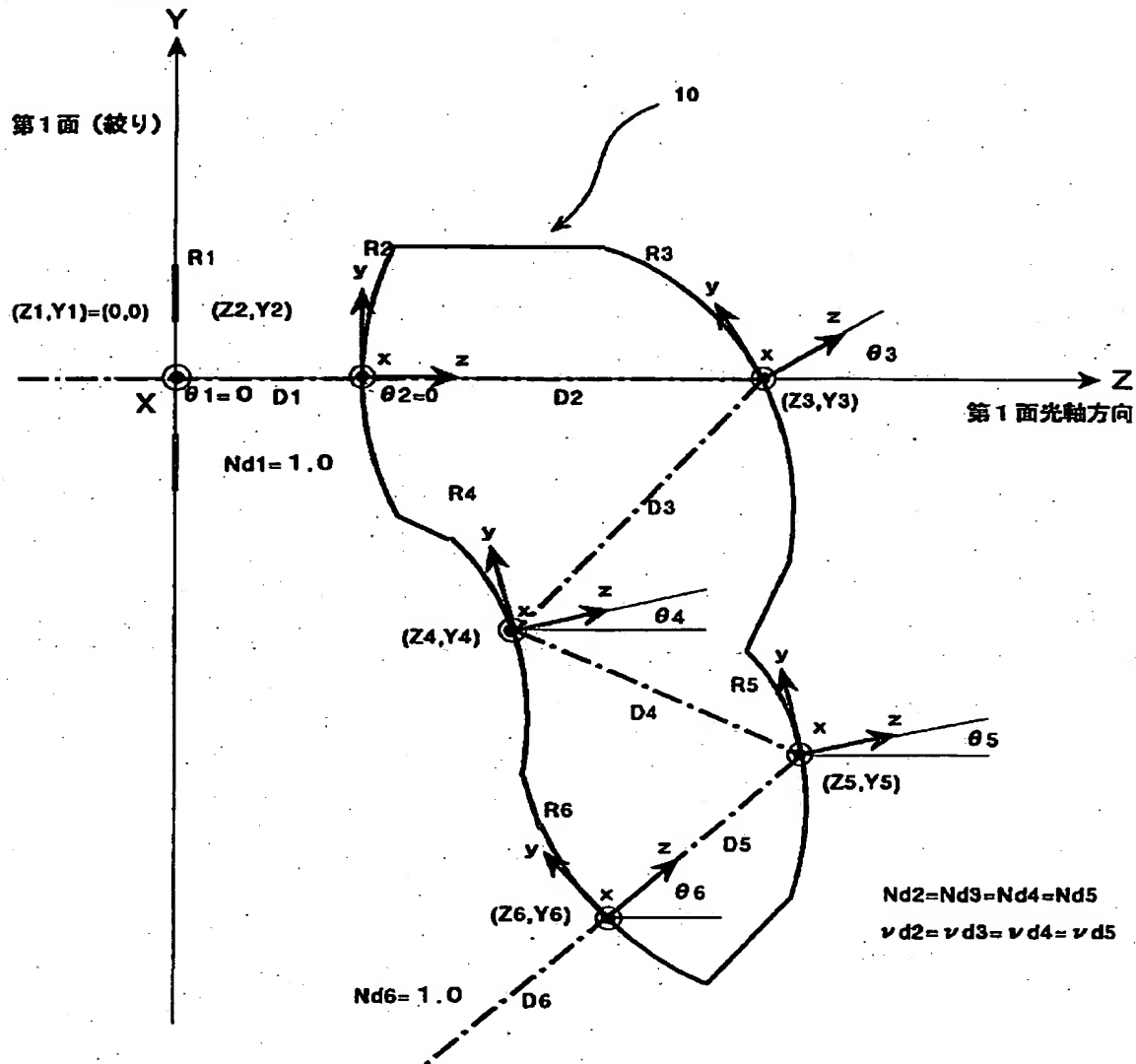
【図 21】



【图 2 2】



【図 23】





【図 2 4】

(水平画角, 垂直画角) 最小スポット

(0.0, 0.0)



(24.84, 31.68)



0.50000 mm



【図 2 5】

(水平画角, 垂直画角) 最小スポット

(0.0, 0.0)



(24.84, 31.68)



0.50000 mm



【図26】

(水平画角, 垂直画角) 最小スポット

(0.0, 0.0)

(24.84, 31.68)

0.05000 MM



【図27】

(水平画角, 垂直画角) 最小スポット

(0.0, 0.0)

(24.84, 31.68)

0.05000 MM



【図28】

(水平画角, 垂直画角)

R3上の光スポット

(0.0, 0.0)



(24.84, 31.68)



0.50000 mm



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 物体像を中間結像を介して最終像面に良好なる光学性能を有して結像させることができる光学素子及びそれを用いた光学装置を得ること、及び、該中間結像面近傍にノイズ発生源が存在する場合、該ノイズ発生源の画像への影響を少なくすること。

【解決手段】 物体像を最終像面に至る前の光路中の中間結像面に少なくとも1回結像させる物体側結像要素および中間結像面に形成した物体像を最終像面に再結像させる像側結像要素を含み、該物体像を最終像面に結像させる光学素子を備え、該物体側結像要素又は該像側結像要素の少なくとも一方はオフアキシヤル曲面を含むオフアキシヤル光学系より成り、該物体側結像要素と像側結像要素の双方の諸収差を制御して、該中間結像面近傍にノイズ発生源が存在する場合に、最終像面上で該ノイズ発生源による光強度分布の擾乱を平坦化していること。

【選択図】 図1

【書類名】

職権訂正データ

【訂正書類】

特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】

000001007

【住所又は居所】

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

【氏名又は名称】

キヤノン株式会社

【代理人】

申請人

【識別番号】

100086818

【住所又は居所】

東京都目黒区自由が丘2丁目9番23号 ラポール

自由が丘301号 高梨特許事務所

【氏名又は名称】

高梨 幸雄

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
氏 名 キヤノン株式会社